

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh diagnostického systému strojní pily

The Design of the Diagnostic System for a Saw Machine

Student:

Bc. Jan Zatloukal

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2010

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny důležité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Zatloukal

Adresa trvalého pobytu autora práce: Věrovany, Rakodavy 299, okr. Olomouc, PSČ: 783 76

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZATLOUKAL, J. *Návrh diagnostického systému strojní pily : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 71 s. Vedoucí práce Helebrant, F.

Diplomová práce se zabývá návrhem diagnostického systému strojní pily Wagner WHC 1430. V úvodu jsou popsány nástroje technické diagnostiky a popis současného technického stavu strojní pily. Hlavní část diplomové práce řeší návrh diagnostického systému, návrh rekonstrukce centrálního mazacího systému, porovnání navrhovaného centrálního mazacího systému s řešením rekonstrukce společností EMKOR Group, s.r.o. Závěrečná část diplomové práce obsahuje popis měření s uvedenými výsledky. Protokoly z měření jsou dokumentovány v příloze. V závěru je uveden popis výsledků k jednotlivým bodům osnovy diplomové práce a výčet doporučení pro provedení generální opravy.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ZATLOUKAL, J. *The Design of the Diagnostic System for a Saw Machine : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2010, 71 p. Thesis head: Helebrant, F.

Master thesis is dealing with design diagnostic circuit for saw machine Wagner WHC 1430. The introduction describes tools of technical diagnostics and description contemporary technical conditions of saw machine. The main part of the master thesis includes design diagnostic circuit, design reconstruction central lubricating system, comparison of designed central lubricating system with solving reconstruction by companies EMKOR Group s.r.o. The final part of master thesis includes description of measurement with mentioned results. Measurement protocols are documented in the enclosure of the master thesis. Account of results to individual points of warp master thesis and enumeration of recommendation for fulfilment overhauling.

.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1 ZAJIŠTĚNÍ A ZVÝŠENÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI STROJŮ	9
1.1 Provozní spolehlivost.....	9
1.2 Údržba a prostředky k jejímu zajištění	10
1.3 Technická diagnostika	12
1.3.1 Technický, technologický a ekonomický význam technické diagnostiky.....	13
1.3.3 Tribodiagnostika	15
1.3.3 Termografie	18
1.3.4 Vibrodiagnostika.....	19
1.4 Bonatrans Group a.s.....	24
1.5 Horizontální kotoučová pila pro řezání za studena.....	29
1.5.1 Popis řezného procesu	30
1.6 Analýza dané problematiky	31
2 IDEOVÝ A TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENÍ DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU A DOPLŇKOVÉHO MAZÁNÍ	36
2.1 Ideový návrh diagnostického systému	36
2.2 Postup při návrhu diagnostického systému.....	37
2.3 Popis rekonstrukce mazacího systému	41
3 PROJEKČNÍ NÁVRH DOPLŇKOVÉHO MAZÁNÍ VODÍCÍCH PLOCH.....	48
3.1 Popis progresivního CMS	48
3.2 Projekční návrh doplňkového mazání vodících ploch.....	54
3.3 Alternativní řešení progresivních rozdělovačů	62
4 VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH MĚŘENÍ.....	64
4.1 Popis měření	64
4.2 Výsledky měření	68
5 ZÁVĚR	69

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Axiální směr měření	[-]
CMS	Centrální mazací systém	[-]
FFT	rychlá Fourierova transformace (Fast Fourier Transformation)	[-]
H	Horizontální směr měření	[-]
LED	Světlo vyzařující dioda (Light-emitting diode)	[-]
MM	Mazaná místa	[-]
NLGI	Národní institut pro mazání (National Lubricating Grease Institute)	[-]
RMS	Efektivní hodnota (root mean square value)	[-]
SEE	Spektrální emitovaná energie (spektral emitted energy)	[-]
TD	Technická diagnostika	[-]
TTD	Tribotechnická diagnostika	[-]
V	Vertikální směr měření	
V	Celkový objem maziva dodaný výstupem rozdělovače na jeden zdvih	[cm ³]
V_j	Jmenovitý objem maziva dodaný na jeden zdvih	[cm ³]
V_{ji}	Objem maziva vytlačený dávkovacím pístem z obou vývodů rozdělovače	[cm ³]
V_p	Objem maziva vytlačený pístem z jednoho vývodu rozdělovače	[cm ³]
v	Spojovaný objem maziva do jednoho vývodu rozdělovače	[cm ³]
p	Podíl dávky maziva jednoho vývodu rozdělovače	[%]
Σ	Suma	[-]

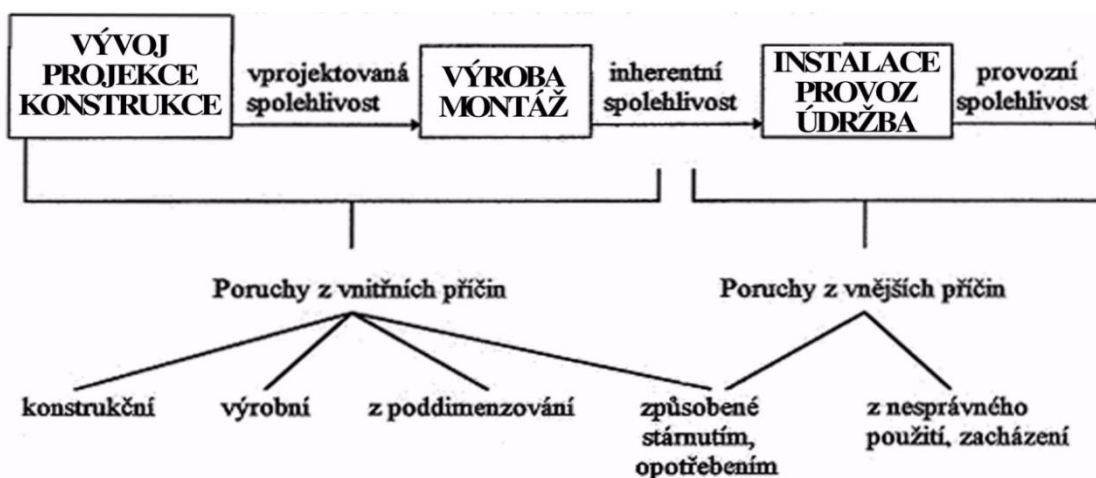
1 ZAJIŠTĚNÍ A ZVÝŠENÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI STROJŮ [5]

1.1 Provozní spolehlivost

Všeobecně známým trendem je snaha o zvýšení provozuschopnosti a provozní spolehlivosti, zajištění delších intervalů mezi údržbářskými odstávkami, efektivnost pracovní údržby, kvalitní technická podpora, lepší využití informací atd. Zajištěním těchto faktorů dosáhneme efektivní a kvalitní výrobou, což je cílem každého podniku. Úroveň a efektivita výroby je v rozhodující míře ovlivňována předvýrobními etapami, ve kterých se rozhoduje o všech vlastnostech, které podmiňují úspěch či neúspěch výrobků. Mezi významné problémy, které je nutno systémově řešit již od konstrukčního návrhu, přes výrobu, užití, až k likvidaci výrobku, patří otázky jakosti, spolehlivosti, diagnostiky, údržby, vlastností materiálů, technologií výroby. Stále výraznější roli zde hraje výzkum a vývoj, ale také znalosti a schopnosti lidí. To vše předpokládá dostupnost informací a pěstování schopností je využívat.

Provozní spolehlivost je jednoduše definovaná jako vlastnost stroje (zařízení), která mu umožňuje provádět dané operace, při určitých provozních podmínkách za určitou pracovní dobu. Tato všeobecná definice se může rozdělit do dalších dílčích znaků spolehlivosti např.:

funkčnost, bezpečnost, bezporuchovost, udržovatelnost, pohotovost. Musíme si uvědomit, že provozní spolehlivost stroje, chápaného jako výrobní prostředek a nástroj k docílení zisku, je nejdůležitější součástí jeho technického života. Dalším faktorem by měla být zpětná vazba ze sledování provozní spolehlivosti, která povede až k inovační rekonstrukci nespolehlivého konstrukčního uzlu (obr. č. 1) nebo jeho součástí.

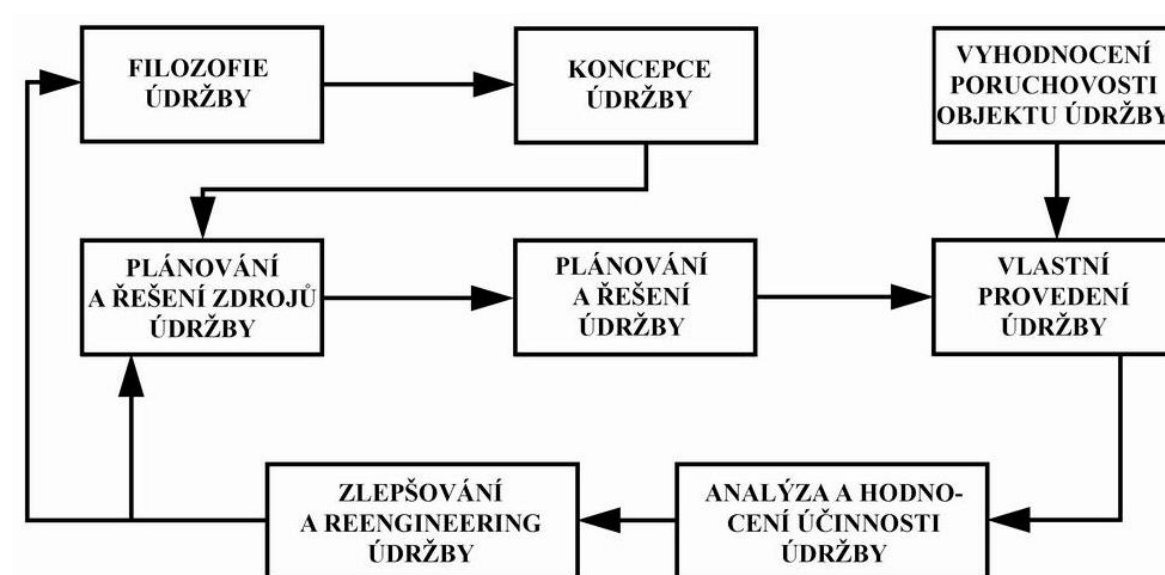


Obr. č. 1 - Průběh technického života objektu – přiřazení spolehlivosti a poruch [2]

Z obr. č. 1 je patrné, že jedním z rozhodujících faktorů ovlivňující a zajišťující provozní spolehlivost, a tím i výrobu, je údržba.

1.2 Údržba a prostředky k jejímu zajištění [1] [2]

Každá výroba má svůj výrobní proces, který je zajišťován výrobními stroji. Jestliže chápeme výrobní stroje jako majetek, pak údržba zajišťuje správu tohoto majetku. Údržba, chápána jako procesně technická činnost, má své základní procesy (obr. č. 2).



Obr. č. 2 – Základní procesy realizace údržby

Základní pojmy údržby dle ČSN EN 13 306:2002

Údržba – kombinace všech technických, administrativních a manažerských činností během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo na jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci,

Strategie údržby – metoda managementu používaná k dosažení cílů údržby,

Udržovatelnost – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo být vrácen do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a zdroje, **Zajištěnost údržby** – schopnost údržbářské organizace mít v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu správné zajištění údržby na místě, kde je nutné provést požadovaný údržbářský zásah,

Zajištění údržby – zdroje, služby a management nutné k provádění údržby.

Údržba z hlediska základního obsahu:

Autonomní údržba – čištění, mazání, dodržování zásad z návodů k údržbě apod.

(snižuje rychlost opotřebení)

Opravy – opatření k opětovnému vytvoření požadovaného stavu (odstraňuje následky opotřebení)

Kontrolně inspekční a revizní činnost – odborné prohlídky, nasazení metod technické diagnostiky, revize vyhrazených technických zařízení (zjišťuje stav opotřebení)

Každý správně vyprojektovaný systém údržby, z pohledu řízení, musí být postaven na tzv. **zásadě 3 P**.

- Preventivnost: provedení v pravý čas
- Proaktivnost: hledání příčiny poruchy
- Produktivnost: je nedílnou součástí výroby, tzn. řešení produktivity

Prostředky k zajištění údržby:

- Technická diagnostika
- Demontážní a montážní postupy a přípravky
- Hodnocení účinnosti údržby a reengineering
- Základní legislativa
- Maintenance manager (manažer údržby)
- Výrobní proces a technologie
- Správné dimenzování již ve fázi projekce a konstrukce
- Teorie zásob
- Ochrana životního prostředí (environment)

Ze zmíněných prostředků k zajištění údržby, vzhledem k mé práci, se budu dále věnovat technické diagnostice.

1.3 Technická diagnostika [1] [2] [3] [7] [8]

Úkolem technické diagnostiky (TD) je objektivní zjištění technického stavu sledovaného objektu a prognózu bezporuchového chodu.

Diagnostiku tvoří oblast znalostí, která zahrnuje teorii a metody organizace procesu diagnózy a také principy konstruování prostředků diagnózy. Jestliže diagnostikovaný objekt je technického charakteru, mluvíme o TD. Základním předpokladem řízení provozu a efektivní údržby je znalost průběhu opotřebení a určení zbytkové životnosti strojního zařízení. TD nahrazuje intuitivní empirický přístup k údržbě technického objektu přesným systematickým přístupem založeným na využití všech informací, které lze získat bez rozebrání objektu a detailního zkoumání jeho jednotlivých součástí. Zavedená TD zvyšuje spolehlivost a bezpečnost provozu. Pomocí měřících a vyhodnocovacích metod stanovujeme aktuální technický stav exaktně v reálném čase. Dané metody nám zajišťují kontrolu bez demontáže a za běžných provozních podmínek.

Musíme si uvědomit, že kontrolně inspekční činnost a údržba musí splňovat následující požadavky:

- vysokou jistotu a spolehlivost s výhledem prodloužení cyklů údržby a omezení následných škod,
- objektivní technický stav musí být určován bez demontáže a bez přerušení provozu,
- zařízení TD musí být jednoduché, musí být jednoznačně stanovené určující parametry,
- vyhodnocení musí být provedeno na základě spolehlivosti celého strojního systému.

Vyřešením předcházejících požadavků lze potom výrazně zvýšit využití výrobních prostředků, respektive zvýšit jejich provozní spolehlivost.

Základní pojmy dle ČSN EN 13 306:2002

- **diagnostický systém:** organizovaný systém tvořený diagnostickými prostředky, diagnostikovaným objektem a obsluhou. Cílem jeho činnosti je určení technického stavu diagnostikovaného objektu a to okamžitého stavu – diagnózy, budoucího stavu – prognózy a stavu v minulosti – geneze,
- **diagnostické prostředky:** soubor technických zařízení, metod a pracovních postupů umožňující provádět analýzu a vyhodnocování technického stavu diagnostikovaného objektu,

- **diagnostikovaná veličina:** veličina, která je nositelem informace o technickém stavu diagnostikovaného objektu nebo jeho částí.

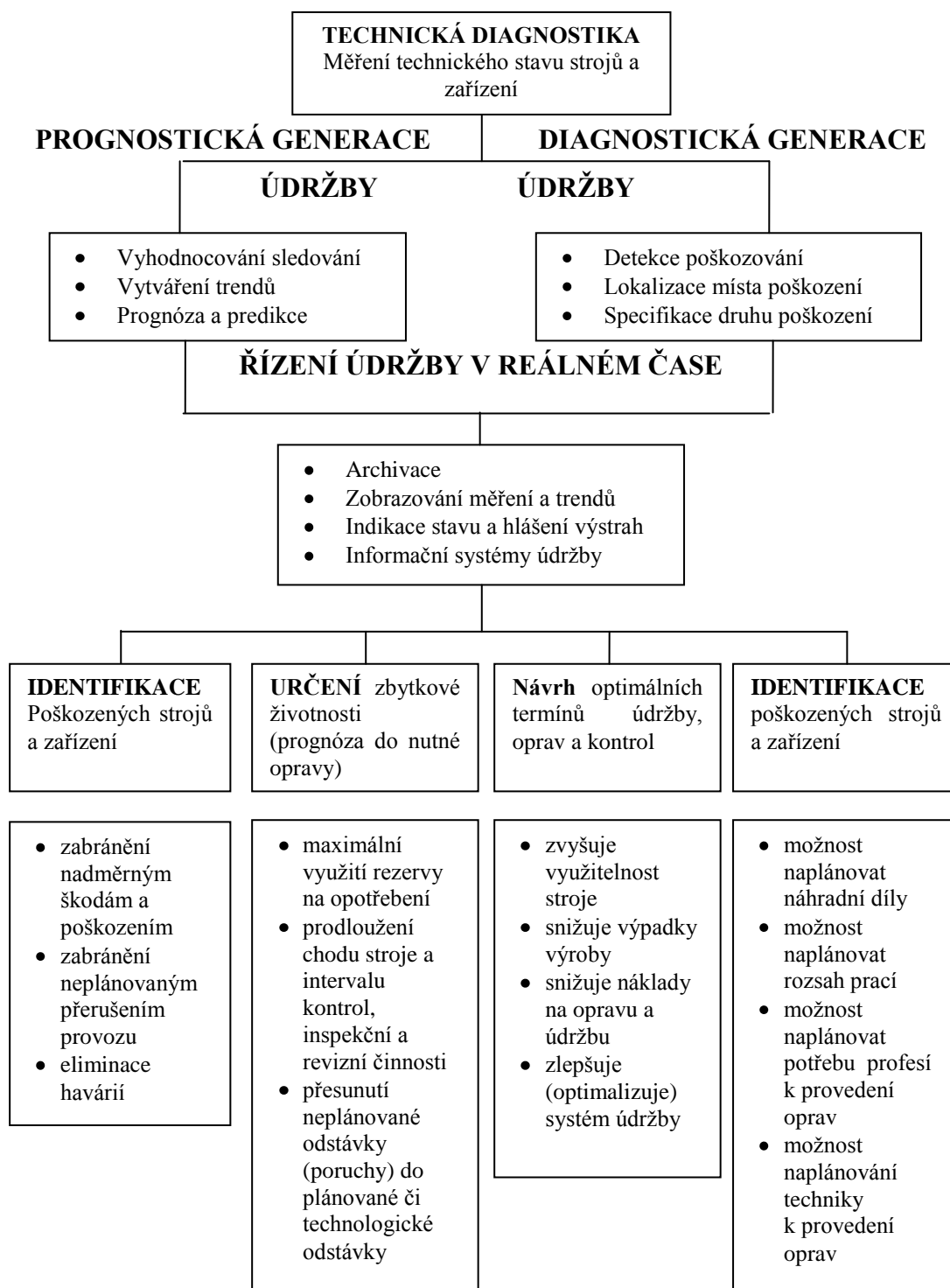
TD můžeme rozdělit do následujících kategorií (jedná se pouze o základní rozdělení):

- Technická nedestruktivní diagnostika: rentgen, ultrazvuk, kapilární metody, atd.
- Technická bezdemontážní diagnostika:
 - funkční (testová) diagnostika
 - provozní technická diagnostika – měření fyzikálního (diagnostického) parametru: vibrodiagnostika, termodiagnostika, tribodiagnostika, akustická diagnostika, atd.

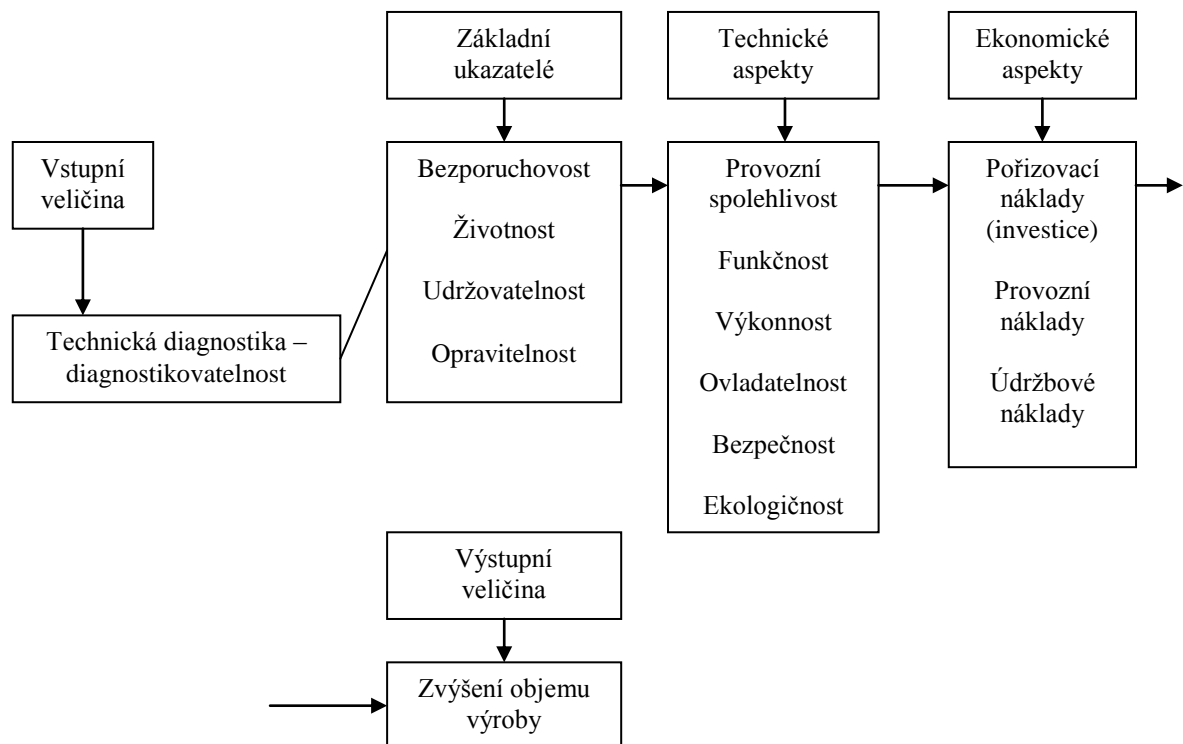
1.3.1 Technický, technologický a ekonomický význam technické diagnostiky [1] [3]

Technický pokrok a vývoj nových technologií nám přináší zásadní změny ve výrobní sféře a údržba, jako součást výrobního procesu, se musí těmto změnám přizpůsobit. Zdokonalené technologie např. ve výpočetní technice, nám umožňují vytvářet nové údržbářské technologie, metody, strategie, přístupy k řešení a hodnocení údržby.

Zajištěnost provozní spolehlivosti je určována bezporuchovostí, udržitelností a zajištěností údržby. Tyto znaky formují pohotovost, životnost, funkčnost, bezpečnost, způsobilost a efektivnost provozu (obr. č. 4). Význam a přínos TD by měl jednoznačně vyjádřit obr. č. 3. Z daného obrázku plyne, že TD je základem pro strategické plánování a řízení údržby.



Obr. č. 3 – Úlohy a přínos technické diagnostiky [1]



Obr. č. 4 – Řetězec vlivů technické diagnostiky na objekt [1]

Zavedením správného systému údržby můžeme omezit ztráty vzniklé sníženou provozní spolehlivostí a tím ušetřit výrobní (provozní) náklady. V dnešní době tento fakt je potvrzován, nejen v literatuře, ale mnoha zkušenostmi ověřenými v praxi.

- Snížení prokazatelných nákladů na údržbu cca 30%,
- Ztráty z titulů snížení využití strojů se výrazně sníží v období dvou let
- První přínosy se projeví po 8 – 12 měsících.
- Připravované období realizace po zpracování trvá minimálně 6 měsíců

1.3.3 Tribodiagnostika [3] [4]

Tribodiagnostika (TTD) je bezdemontážní metodika technické diagnostiky, která využívá maziva jako nositele informace o mechanických změnách a dějích v technickém systému, v němž je mazivo aplikováno. Účelem je zjišťovat, vyhodnocovat výskyt cizích příměsí obsažených v mazivu a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. TTD umožňuje tvorbu harmonogramu oprav, zajišťuje spolehlivost chodu stroje. Vhodnou

aplikací oleje, udržováním oleje v nedegradovaném a čistém stavu lze snížit poruchovost a náklady na údržbu stroje na minimum.

Při chodu strojního systému dochází ke kontaktu součástí, kterým zapříčiní tření a následné uvolnění částic kovů nebo jejich sloučenin. Tyto částice jsou olejem vyplavovány s třecích míst a spolu s ním cirkulují v mazací soustavě objektu. S rostoucí mírou opotřebení, roste také počet částic nejen co do počtu, ale také velikosti a tvaru. Určení technického stavu stroje je tedy založeno na principu porovnávání koncentrace tzv. otěrových kovů ve vzorcích maziva s mezním stavem určeným normou.

Základem kvalitního rozboru maziva je odebrání tzv. reprezentativního vzorku. Vzorek musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním objektu. Jeho odebírání by mělo být prováděno jednou osobou. Není li tak, pak by měl být vypracován podrobný postup pro sjednocení metodiky odběru. Pro odběr vzorku je vypracováno několik základních postupů, které jsou obsaženy v ČSN. Například ČSN 65 6207 je jednou z nejnáročnějších a nejpřesnějších postupů odběru vzorku. Jedná se o odběr hydraulického oleje, kde je třeba dávat obzvláště pozor na velikost o množství částic. Všeobecně se vzorky odebírají do čistých nádob o obsahu 300 ml. Odebraný vzorek musí být řádně označen. Před samotným odběrem musí být stroj minimálně 20 min v chodu z důvodu promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu.

Klasifikace fyzikálně chemických vlastností mazacího oleje

Provozní degradace maziva je dynamický proces probíhající v reálném čase, mající své zákonitosti, které je nutno sledovat, identifikovat a kvantifikovat, tzn. sledovat rychlost změn v čase. Bylo by velice finančně náročné provádět veškeré zkoušky předepsaných jakostní specifikací. Proto existují tzv. smluvní testy, kterými lze normalizované zkoušky nahradit.

Základní metody:

- **Kinematická viskozita** – je to rozhodující vlastnost maziva u hydrodynamického tření. Změny viskozity mohou probíhat dvěma směry a to zvyšování, pokles viskozity. V případě příliš nízké viskozity dochází k meznímu až suchému tření s důsledkem nadměrného opotřebení. V extrémním případě zadření třecích ploch. Vysoká viskozita způsobuje ztráty energie kvůli velkému koeficientu tření.

- **Bod vzplanutí** – je nejnižší teplota, při které zahříváním v předepsaném přístroji za podmínek zkoušky přechází z oleje do ovzduší nad hladinou tolik par, že vzniklá směs přiblížením plaménku vzplane a opět zhasne. Zkouška se provádí v otevřeném, nebo uzavřeném kelímku v dostatečně tmavém a od průvanu chráněném místě. Na zkoušku potřebujeme asi 100 ml oleje. Bod vzplanutí je důležitý zejména u motorových olejů, kde se pomocí této zkoušky určuje přibližné množství paliva v oleji.
- **Obsah vody** – je prováděn ve dvou etapách. V první etapě se voda kvalitativně zjišťuje některou z jednoduchých metod. Např. vizuální metodou, která spočívá v tom, že odebraný vzorek protřepeme, a v případě jeho zakalení obsahuje vodu. V druhé etapě, po zjištění obsahu vody, se přistupuje ke kvantitativnímu stanovení některou z laboratorních metod. Nejvhodnější je Fischerova titrační metoda. Obsah vody snižuje kvalitu mazacího filmu a způsobuje korozi mazaných částí.
- **Číslo alkality a kyselosti** – v průběhu provozní degradace olejů vznikají organické kyseliny. V mazacích olejích u spalovacích motorů mohou vznikat minerální kyseliny jako produkt spalování. Volné minerální kyseliny působí korozivně, a proto jsou nežádoucí, způsobují chemické opotřebení. Metoda pro stanovení čísla kyselosti je založena na principu titrace.
- **Kód čistoty** – pomocí normy ČSN ISO 4406 se stanoví kód čistoty pro definici množství pevných nečistot v kapalinách používaných v hydrostatických prvcích všech oborů. Kód čistoty odpovídající stupni znečištění se skládá ze tří čísel, která umožňují rozlišit velikost částic nečistot a jejich distribuci takto:
 - a) první řada čísel reprezentuje počet částic rovných, nebo větších než 4 (c) μm v 1 ml kapaliny.
 - b) druhá řada čísel reprezentuje počet částic rovných nebo větších než 6 (c) μm v 1 ml kapaliny.
 - c) třetí řada čísel reprezentuje počet částic rovných nebo větších než 14 (c) μm v 1 ml kapaliny.

Norma ČSN ISO 4406 nahrazuje starší vydání ISO 4406 kvůli rozdílnému optickému etalonu pro optické automatické počítače částic. Stará norma sloužila pro používání mikroskopu a sledovala dvě hodnoty velikosti částic $\geq 5 \mu\text{m}$, $\geq 15 \mu\text{m}$.

1.3.3 Termografie [1] [2]

Termodiagnostika patří mezi bezdemontážní nástroje TD. Tato metoda je charakteristická tím, že jako nositele informace o technickém stavu diagnostikovaného objektu využívá teploty. V podstatě se jedná o zjišťování ustálených nebo časově proměnných hodnot. Členění této metody je závislé na způsobu její aplikace.

Způsoby měření teploty:

Dotykové měření teploty – princip je založen na přímém kontaktu s měřeným objektem např. predehřátý materiál, ložisko. Tento způsob je velice vhodný pro provozní měření. Přístroje mají dostatečnou přesnost a vyrábějí se v kapesním provedení. Zjišťovaná teplota je vyobrazena na digitálním displeji.

Bezdotykové měření teploty – tato metoda využívá sálání tepla, které je zachyceno v oblasti infračerveného záření. Bezdotykové měření umožňuje snímat teplotu od absolutního bodu a do teplot kolem 1800°C. V diagnostice se používají pyrometry jako je např. úhrný pyrometr, který vyhodnocuje teplotu přibližně v celém rozsahu vlnových délek podle Stefan – Boltzmanova zákona. Dále se používá pásmový pyrometr, který vyhodnocuje záření v určitém pásmu vlnových délek. Tento přístroj je vybaven kvantovým snímačem, proto se také někdy nazývá fotoelektrický.

Identifikace teplotních obrazů

Systém snímání teplotních obrazů se dělí na:

- infrafotografie,
- obrazové měniče,
- systémy pracující bez rozkladu obrazu,
- termovizní systém s optickomechanickým rozkladem,
- termovizní systém s elektronickým rozkladem,
- systém pracující s rozkladem.

V současné době, díky moderním technologiím, nám trh nabízí široký sortiment přístrojů. Jedním z nich je termovizní kamera. Její výhodou je obrovská mobilita, ta je zaručena malými rozměry, které v dřívějších dobách byly problémem. Toto zařízení má uplatnění v mnoha odvětvích diagnostiky, např. při diagnostice strojních zařízení, kde

zjištěné zvýšení teploty indikuje mechanickou závadu (nesouosost spojek, zvýšené tření ložisek atd.). Dalším oborem, který široce využívá této diagnostiky je stavebnictví. Termovizní kamera je zde využívána k nedestruktivnímu vyhledávání tepelně technických závad v obvodových pláštích budov, nebo ke kontrole jakosti provedení tepelných izolací. Tuto metodu lze také použít pro určení polohy průniku vzduchu obvodovým pláštěm budovy, odhalení poruch v topném obvodu v konstrukci dle unikajícího média apod.



obr. č. 5 – Pohled na obvodový plášť panelového v termovizním a běžném spektru

1.3.4 Vibrodiagnostika [1] [2] [3] [6] [8] [9] [10]

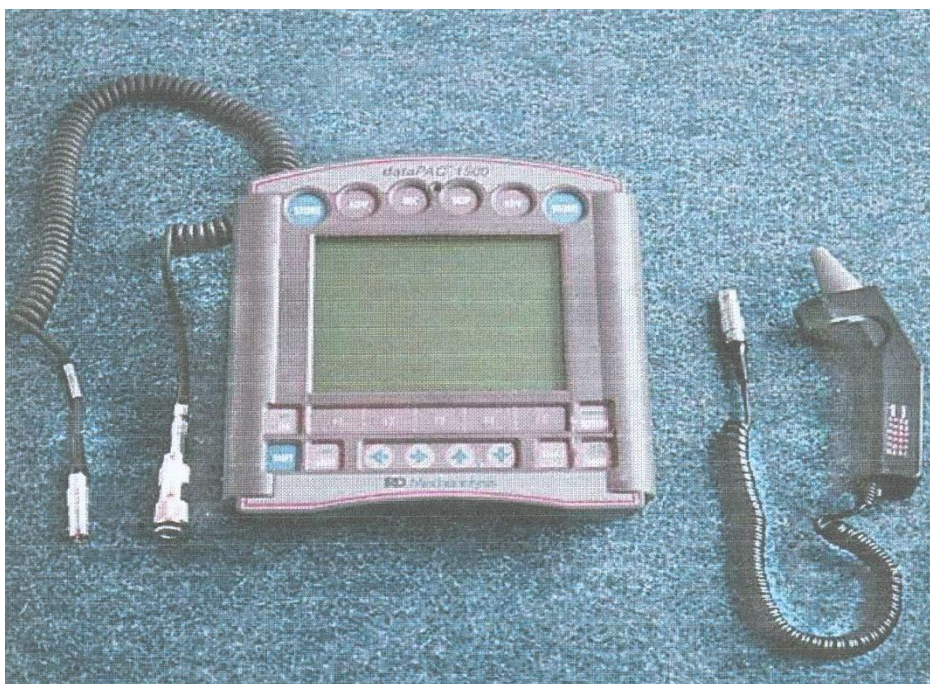
Tato metoda využívá vibrací rotujících strojů k poskytnutí informací o provozním a technickém stavu zařízení. Na základě těchto informací se zabezpečuje strategické plánování a řízení údržby. Neodmyslitelnou součástí tohoto procesu je také vyhodnocování stavu a průběhu vibrací po dobu dosavadního provozu stroje.

Vibrace vzniklé u rotujících strojů jsou zapříčiněny dynamickým namáháním, které souvisí se stavem ložisek, převodovek, nevývahou, trhlinami v důležitých komponentech, nesouosostí, opotřebením kontaktních ploch součástí apod. Z toho plyne, že jejich sledování a vyhodnocování patří k základním pilířům metod technické diagnostiky.

Vývoj vibrodiagnostiky vlastně kopíruje vývoj metod technické diagnostiky. V podstatě se jednalo o pocitové a vizuální vnímání vibrací, až po jednoduché snahy o zesílení vibračního signálu. Obrovským pokrokem bylo nasazení výpočetní techniky. Ta umožňuje maximalizaci vypovídajících schopností o technickém stavu objektu, samotné měření vibračního signálu, ale hlavně možnost jeho vyhodnocení v reálném čase.

Vibrodiagnostiku můžeme rozdělit z hlediska monitorování vibrací na tzv. OFF LINE a ON LINE měření. Další variantou je kombinace, tzn. snímače jsou nainstalovány trvale a měření dat je prováděno cyklicky.

V případě OFF LINE měření se jedná o pochůzkovou metodu, kde se využívá přenosných měřicích přístrojů (obr. č. 7). Zde se provádí pravidelná měření ve všech klíčových bodech sledovaného zařízení. Intervaly pochůzek se stanoví podle důležitosti strojního zařízení, zatížení stroje, charakteru stroje. Sleduje se i vývoj trendů měřených veličin pomocí trendových grafů. Trendový graf je časový graf, který zobrazuje současnou a předchozí hodnotu vibrací v závislosti na čase. Ze zobrazených naměřených hodnot v trendovém grafu je patrná jejich poloha k nastavené úrovni výstrahy poplachu, tzn. vibrační diagnostikou zjistíme příčiny vznikající závady a musí následovat vhodná údržbářská opatření. Změní-li se hodnota úrovně vibrací, pak se zkrátí intervaly měření a provede se podrobná analýza vibrací – vyhodnocení. K vyhodnocení patří i určení limit pro kvalitní úroveň provozu – dobrý, uspokojivý, neuspokojivý, nepřijatelný stav (ČSN ISO 10816).



obr. č. 6 – Přístroj pro pochůzkovou diagnostiku dataPAC 1500, výrobce ENTEK

ON LINE měření zajišťuje trvalé monitorování vibrací instalací vhodného diagnostického systému. Některé důležité, nebezpečné, nebo obtížně dostupné stroje je

těžké diagnostikovat pochůzkovým způsobem. Dnešní monitorovací systémy umožňují měření více parametrů v jednom měřicím bodě - teplota, vibrace, stav ložisek, provozní hodiny. Reléové výstupy umožňují okamžité odstavení stroje, pokud dojde k překročení nastavených mezních hodnot. ON LINE systémy lze přizpůsobit každému zařízení. Např. systém F – LINK od firmy SKF umožňuje zapojení až 32 jednotek s 16 měřicími místy. Ty mohou pracovat lokálně, v síti, nebo být spojeny pomocí komunikační linky s vyhodnocovacím PC na velíně.



obr. č. 7 – Aplikace F – LINKU na hlavním důlním ventilátoru



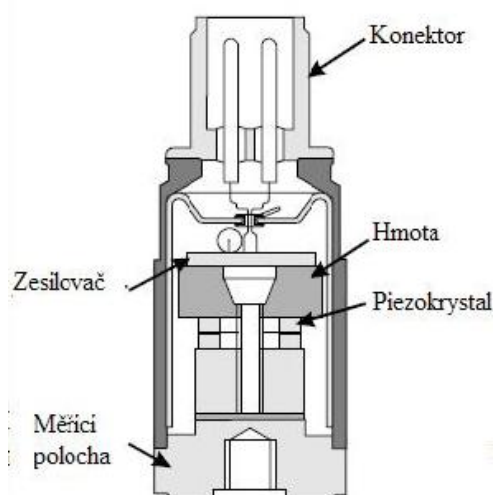
obr. č. 8 – ON LINE měřicí bod – akcelerometr SKF CMMS 2100

Snímače vibrací

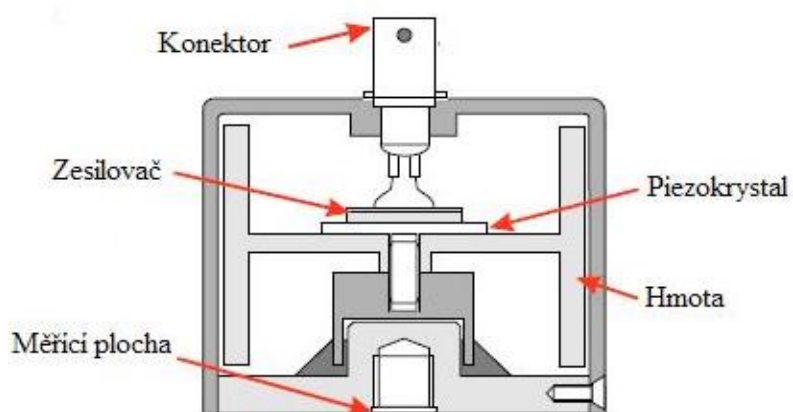
Z pohledu základního rozdělení existují dva typy snímačů vibrací, a to seismická zařízení a snímače relativní výchylky. Seismická zařízení se upevňují na konstrukci stroje. Jejich výstupem je míra absolutních vibrací konstrukce. Snímače relativní výchylky měří střední polohu a vibrační výchylku mezi rotujícími a nerotujícími prvky. Výběr vhodného snímače závisí na několika faktorech. Jedněmi z nich jsou měřená veličina – rychlost, zrychlení, výchylka vibrací, nebo zda provádíme měření absolutní nebo relativní vibrace. Dalším faktorem je, ve které frekvenční oblasti vibrací bude měření prováděno – nízkofrekvenční, běžné frekvence vibrací apod.

Druhy snímačů stavu vibrací:

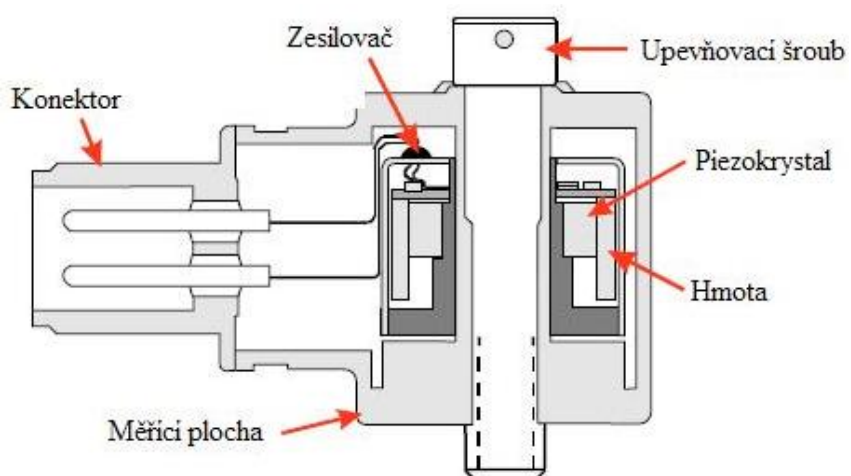
Akcelerometry patří mezi nejužívanější snímače. Jejich výstup zrychlení, ale integrace dává další veličiny (rychlost, výchylka vibrací). Jsou složeny z piezoelektrického materiálu, který je sendvičově umístěn pod seismickou hmotu. Tato hmota společně s piezokeramikou tvoří systém hmot a pružin s velmi vysokou vlastní frekvencí. Akcelerometry využívají wolframovou hmotu a piezokeramiku k maximalizování citlivosti nízkých frekvencí. V oblasti pod rezonancí působí hmota na piezokeramiku silou, která je úměrná vibračnímu zrychlení konstrukce. Piezokeramika v odezvě na aplikovanou sílu generuje elektrický náboj. Nábojový výstup je podle potřeby upravován. Akcelerometry se upevňují na nerotující část konstrukce. Jsou dostupné v různých velikostech a přednostně používány při měření objektů s malou montážní plochou, při vysokých teplotách. Tyto akcelerometry jsou dostupné s různými montážními rezonančními frekvencemi, typická frekvence je od 1 KHz výše. Podle způsobu umístění seismické hmoty rozeznáváme tlakové (obr. č. 10), ohybové (obr. č. 11) a smykové snímače (obr. č. 12).



obr. č. 9 – Tlakový akcelerometr



obr. č. 10 – Ohybový akcelerometr



obr. č. 11 – Smykový akcelerometr

Snímač rychlosti vibrací je seismické zařízení, které vytváří signál úměrný mechanické vibrační rychlosti měřeného objektu. Je složen z permanentního magnetu, který obklopuje indukční cívka. Cívka je uchycena k pouzdru snímače pomocí pružiny. Magnet je pevně připojen k pouzdru snímače a sleduje vibrační pohyb konstrukce. Existují i konstrukce, kde magnet je pohyblivý a cívka je připojena ke konstrukci. Snímač se připojuje na nerotující část konstrukce stroje.

Bezdotyková sonda má výstup, který je přímo úměrný relativní výchylce vibrací mezi rotujícími a nerotujícími částmi stroje. U některých strojů, které mají hmotnost nosné konstrukce větší než hmotnost rotoru, může být potřebné změřit relativní výchylku mezi rotorem a konstrukcí statoru. Snímač výchylky je bezdotykové zařízení, které může ověřit relativní výchylku hřídele vůči skříni stroje nebo stacionárnímu ložisku. Většina snímačů výchylky funguje na principu vířivých proudů. Cívkou prochází vysokofrekvenční střídavý proud, který generuje vysokofrekvenční magnetické pole. Když do tohoto pole vložíme elektricky vodivý materiál dojde k generování vířivých proudů, které odebírají energii z vysokofrekvenčního magnetického pole.

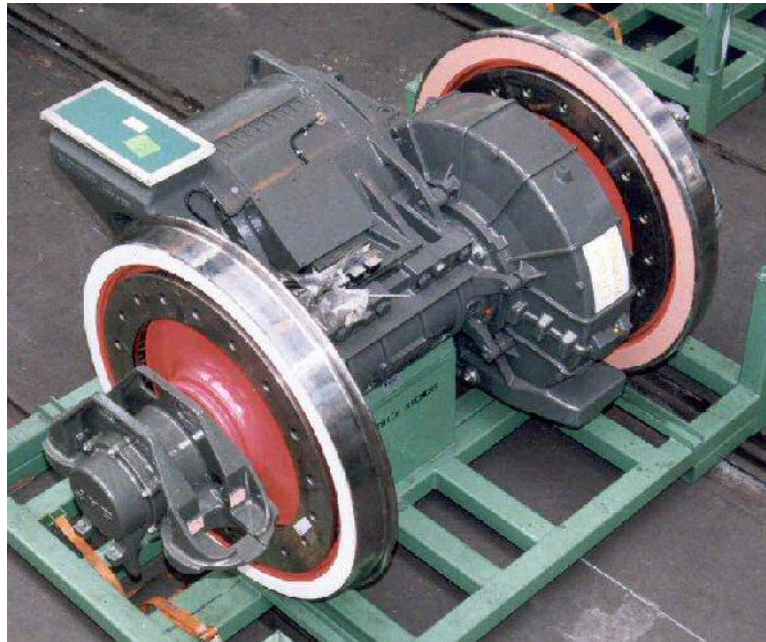
1.4 Bonatrans Group a.s. [11]

Společnost Bonatrans se zabývá primární výrobou kol a obručí. Do výrobního procesu patří, kromě obrábění a montáže, také výroba surových kol, náprav a obručí ze surového materiálu. Systém výroby je optimalizován pro plynulou změnu sortimentu podle požadavků zákazníka. Sortiment výrobků zahrnuje cca 200 typů obručí a přes 300 typů surových kol, a to i v malých sériích.

Druhy výrobků můžeme rozdělit podle oblasti použití:

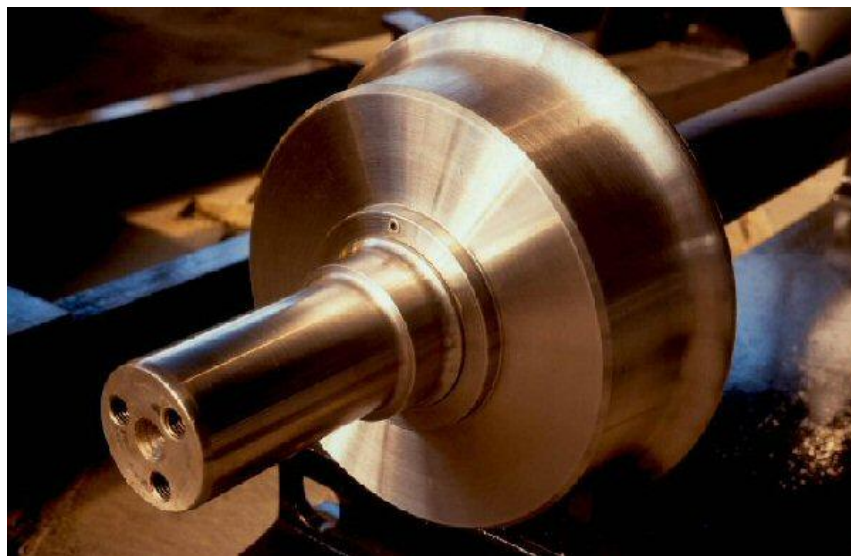
- Pro osobní dopravu
 - Dvojkolí hnací
 - Dvojkolí běžná
 - Kola, nápravy

- Pro lokomotivy
 - Dvojkolí
 - Kola, nápravy



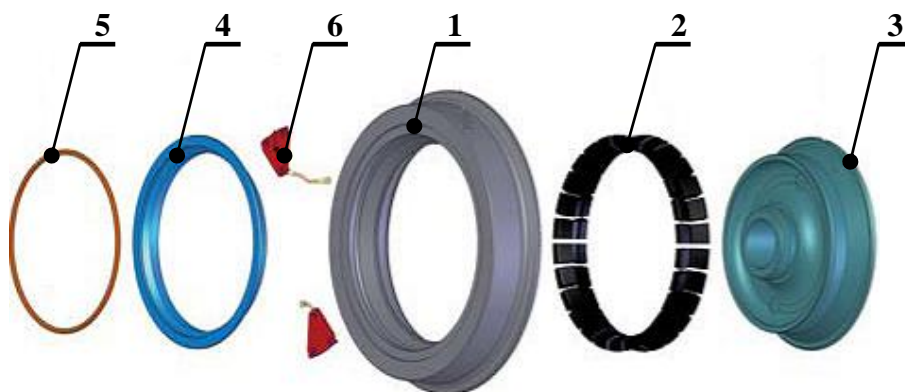
Obr. č. 12 – Hnací dvojkolí s brzdovými kotouči a s pohonem s přenosem hnací síly na nápravu pro lokomotivu DJ1 od firmy Siemens [11]

- Pro městskou dopravu
 - Odpružená kola
 - Výrobky pro metro
 - Další výrobky pro městskou dopravu
- Pro nákladní dopravu
 - Napětově optimalizovaná kola a dvojkolí Bonatrans
 - Další výrobky pro nákladní aplikace



Obr. č. – 13 Nízká dvojkolí pro přepravu kamionů [11]

- Tlumiče Bonatrans
 - Tlumící kroužky
 - Kompozitní tlumiče



Obr. č. 14 – Složení tramvajového kola: 1 – obruč, 2 – pryžové segmenty, 3 – kotouč, 4 – přítlačný kruh, 5 - pojistný kroužek, 6 – zemníčí můstky [11]

Samotnou výrobu v základu můžeme rozdělit na 4 části:

- Válcovna kola obručí
- Kovárna náprav
- Obrobna kol a náprav
- Montáž dvojkolí

Válcovna kola a obručí - základním materiálem pro výrobu kol a obručí je kontinuálně litá vakuovaná ocel s požadovanou jakostí. Dodávané kontislitky jsou automaticky děleny, za pomoci přesných pil, na špalky. Ty jsou pak ohřívány v karuselové peci na požadovanou tvářecí teplotu (cca 1300 °C). Proces ohřevu je řízen automatickým počítačovým systémem z důvodu zajištění stejnoměrného ohřevu pro každý druh materiálu a velikost špalku.

Špalky s kovací teplotou jsou odkujeny a zformovány na hlavním kovacím lise. Poté dojde k vystřížení díry v náboji děrovacím lisem. V tuto chvíli se linka dělí na válcovnu obručí a válcovnu kol.

Na elektronicky řízené válcovače kol za pomoci systému válců se vytvaruje deska a věnec kola. Konečného tvaru dosáhneme na prohýbacím lise. Požadovaných mechanických vlastností docílíme řízeným procesem tepelného zpracování v tunelových pecích a na kaličkách kol.

Celý proces je počítačově řízen. To umožňuje identifikaci každého kola, které projde výrobním procesem a zpětné dohledání způsobu zpracování kola. Dále následují mechanické zkoušky a další opracování.

Kovářna náprav - vstupním materiálem pro nápravy je čtvercový předvalek z vakuované oceli požadované jakosti. Vyrábí se přes 200 typů surových náprav. Předvalek ohřátý na tvářecí teplotu je na kovacím lise zpracován na základní tvar nápravy. Dále následuje řízené tepelné zpracování (kalení nebo normalizace). Celý proces je počítačově řízen, s ohledem na materiál nápravy a jeho velikost. Tento systém zaručí dosažení optimálních mechanických vlastností. I zde je identifikace každé nápravy a průběhu jejího zpracování.

Po provedení patřičných zkoušek, kde se kontroluje rozměrová a materiálová charakteristika, je náprava uvolněna k opracování.

Obrobná kol a náprav – linky pro obrábění kol a náprav zajišťují špičkově přesné obráběcí stroje a samozřejmě kvalifikovaná obsluha. Veškeré obráběcí stroje jsou číslicově řízené a napojené na centrální databanku programů pro obrábění všech vyráběných typů. To umožňuje rychlé nastavení kteréhokoli stroje.

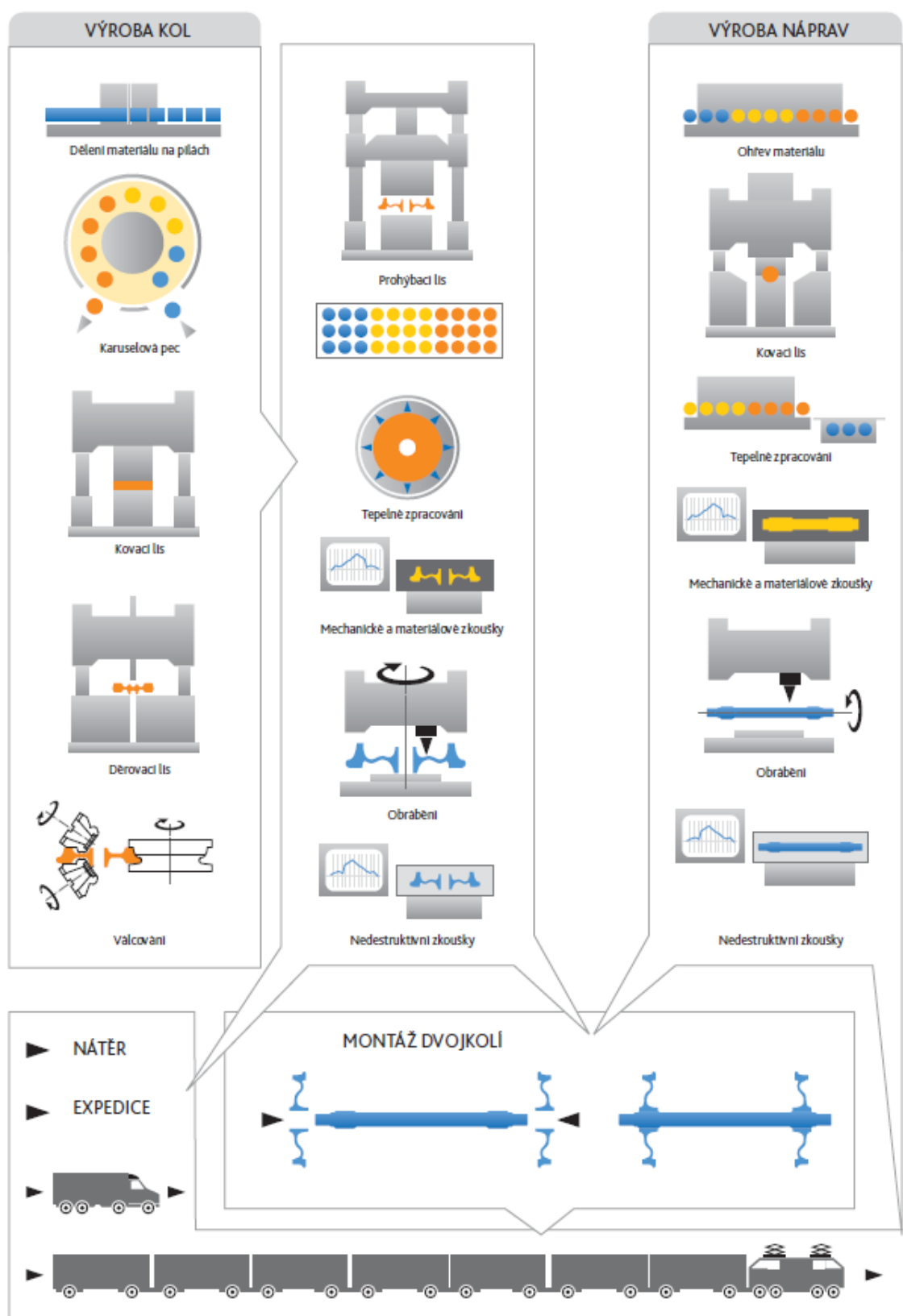
Obrobná je vybavena více obráběcími centry, které umožňují souběžnou výrobu mnoha různých sortimentů. Každý obrobený kus je opatřen svým kódem, který umožní identifikaci obrobku a zároveň záznam o průběhu obrábění.

Po dokončení obrábění se kola vyvažují na vyvažovacích stolicích. Dále následují nedestruktivní zkoušky, které odhalí případné vnitřní a povrchové vady. V případě že kola a nápravy mají být dodané jako samostatné díly, provádí se povrchová úprava dle požadavků zákazníka.

Montáž dvojkolí - většina výrobků je dodávána ve formě kompletních dvojkolí. Výjimku tvoří některá hnací dvojkolí. V tomto případě je montáž z hlediska logistiky výhodnější u zákazníka. Dle požadavků zákazníka se také provádí montáže jiných komponentů dvojkolí např. brzdové kotouče na kolech a nápravách, tlumiče hluku, ložiskové systémy, montáž převodovek atd.

Většina dvojkolí je montována nalisováním kol na nápravy. Lisování je prováděno přesně definovaným tlakem a průběhem. U menších částí dvojkolí je montáž zajišťovaná tepelným smrštěním. Kvalitní montáž ložisek a ložiskových systémů je zaručena certifikovanou montážní dílnou ložisek. Kvůli odolnosti proti korozi jsou dvojkolí opatřována ochranným nátěrem.

Celá výroba je shrnuta a schematicky zobrazena na obr. č. 16.



Obr. č. 15 – Schéma výroby [11]

1.5 Horizontální kotoučová pila pro řezání za studena [12]

Horizontální kotoučová pila pro řezání za studena fa **WAGNER**, model **WHC 1430** (obr. č. 16) je určena k pravoúhlému řezání válcovitých, kontinuálně litých kruhových bloků. Umožňuje řezat oceli a legované oceli s pevností v tahu maximálně do $1\,300\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ s řeznými kotouči z tvrdokovu. Pila umožňuje použití pilových kotoučů ze segmentů HSS (High speed steel).

Tyto pilové listy umožňují řezání vysoce legované oceli, kterou nelze hospodárně řezat pilovými listy z tvrdokovu.



Obr. č. 16 – Horizontální kotoučová pila fa WAGNER model WHC 1430

Některé technické parametry pily WHC 1430

Konstrukční rozměry stroje

- | | |
|------------|-----------|
| • Délka | 2 000 mm |
| • Hloubka | 5 350 mm |
| • Výška | 3 400 mm |
| • Hmotnost | 14 000 kg |

Příkony pohonů

- | | |
|---|---|
| ➤ List pily | 120 kW (stejnoseměrný derivační motor) |
| ➤ Hydraulika | 15 kW (třířázový motor) |
| ➤ Posuv saní pily | třířázový servomotor – točivý moment 40 N.m |
| ➤ Hnací motory (s převodem transportních válečků) | 4 kW |

Řezná rychlost 6 až 120 m.min⁻¹

Saně pily

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| ▪ Zdvih | max. 580 mm |
| ▪ Posuv | plynulý 5 až 300 mm.min ⁻¹ |
| ▪ Rychlý zpětný chod | 6 000 mm.min ⁻¹ |
| ▪ Směr otáčení řezného kotouče | shora dolů |
| ▪ Upínací příruba řezného kotouče | ø 360 mm |
| ▪ Odsouvací zdvih osy pily | 5 mm |

Upnutí obrobku

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| ○ Radiální upínací síla | max. 2 x 125 000 N |
| ○ Horizontální klínové upnutí | max. 2 x 55 000 N |

1.5.1 Popis řezného procesu [12]

Bloky o rozměrech 2 500 až 8 000 mm se pomocí válečkové dráhy přivádí axiálně k přísunové dráze (obr. č. 18). Převážná rychlost je 0,158 m.s⁻¹. V oblasti transportních válečků přívodní strany se přepravovaný blok zastaví a pomocí vyrovnávací jednotky se srovná vůči vertikálním vodícím válečkům. Blok pak přijíždí malou rychlostí proti zarážce míry. Po té se automaticky zavede měřicí cyklus (měření výchozí délky). Blok je za pomoci ručního ovládání dopraven na žádanou délku hlavového (čelního) kusu a začne řezání hlavového kusu. Ten je pak vysunut následujícím blokem ze stroje, posunut na transportní vozík a odvezen. Při řezání dobrých kusů jedou bloky ve směru k automaticky nastavené zarážce délkové míry. Zarážka délkové míry vyše impuls pro řezný cyklus.



Obr. č. 17 – Dopravní válečková dráha

Cyklus je složen z následujících operací: upnutí obrobku, posunu saní pily, odsazení upnutí na odsunové straně upnutým odřezkem, odsazení osy pily, zpětný chod saní pily, uvolnění upnutí obrobku, zpětný chod osy pily a upnutí na odsunové straně do výchozí pozice.

Během řezacího procesu uchopí kleště drapáku zarážky délkové míry odřezek. Ten je pak po odřezání axiálně tažen do vzdálenosti cca 750 mm na transportní vozík odřezků. Vozík je vybaven zvedajícími se válečky, které podporují proces přepravy. Po umístění odřezku na vozík povolí kleště. Hlava zarážky se uvolní a vytočí. Válečky transportního vozíku se sníží. Následuje další najíždění bloku proti zarážce. Hlavové a patní kusy se řezou dle vizuálního posouzení a obsluhou jsou pak vsunuty na vozík.

1.6 Analýza dané problematiky

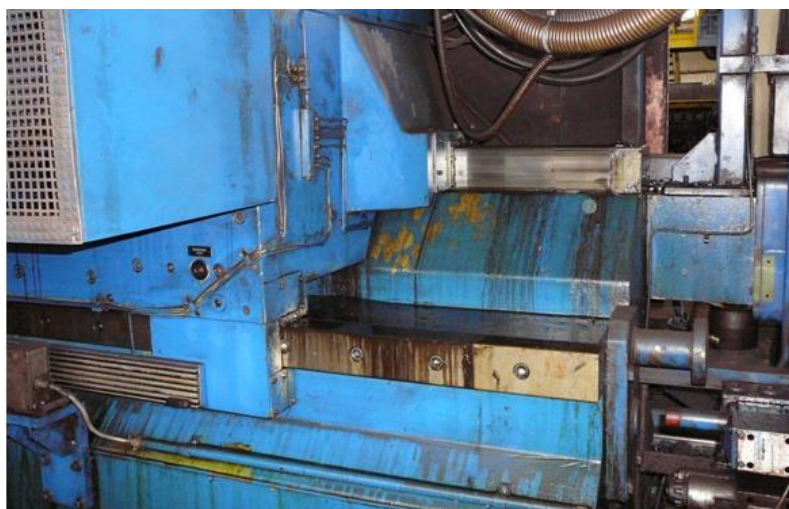
Společnost EMKOR Group, s.r.o., na základě objednávky od společnosti BONATRANS GROUP, a.s., provádí sběr dat pro vyhodnocení objektivního technického stavu horizontální kotoučové pily pro řezání za studena (fa WAGNER, model WHC 1430). Analýza je prováděna formou pochůzkové vibrodiagnostiky. Součástí této zakázky je

návrh dodatečného mazání vodících ploch lože pily. Na základě této objednávky mně byla zadána Diplomová práce. Rozsah práce je uveden v zadání diplomové práce a bližší specifikace zadání provedla firma EMKOR Group, s.r.o.

Popis současného stavu pily WHC 1430

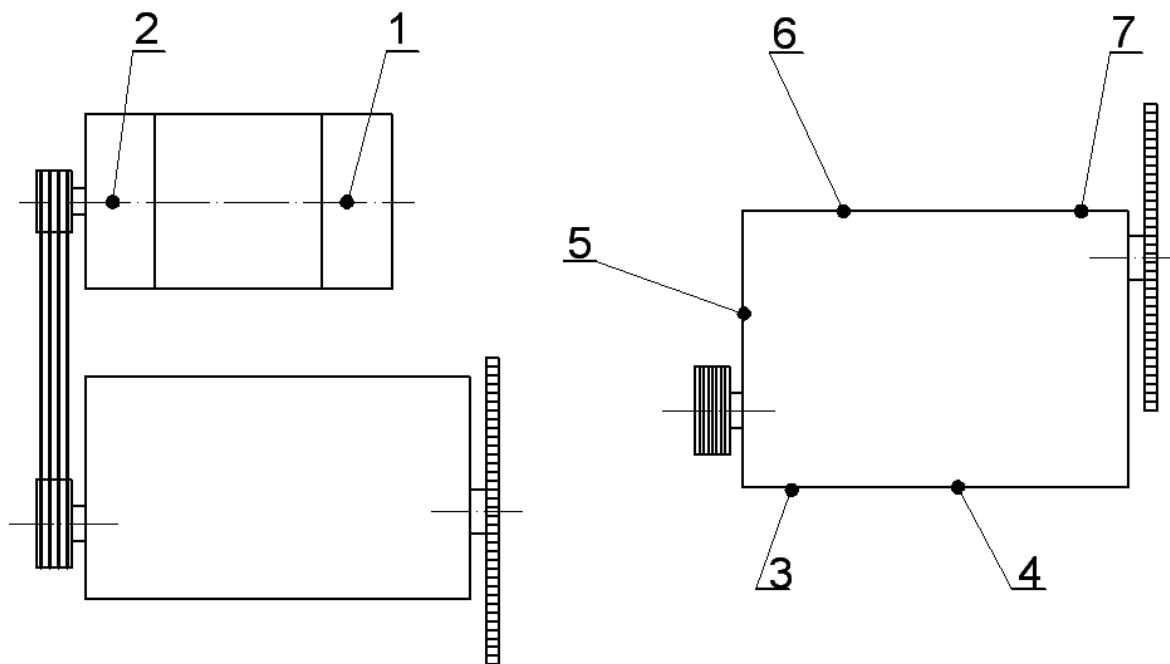
Rozsah zadání objednávky vyplývá ze dvou hlavních faktorů:

- **Zvýšené vibrace řezných kotoučů** – tento nežádoucí jev způsobuje výrazně rychlé otupení řezných kotoučů, což vede k jejich častým výměnám, větším prostojům a v neposlední řadě zhoršené kvalitě řezu. Delší doba řezání s otupenými kotouči způsobuje větší nároky na jeho renovaci (velké množství odebraného materiálu při obnově geometrie zubu) a neumožňuje využití plného řezného výkonu kotoučové pily. Včasné dobroušení kotoučů znamená minimální ztrátu na průměru pilového listu. Tyto všechny faktory vedou k jasnému zhoršení hospodárnosti daného procesu a zvýšení vibrací.
- **Nedostatečné mazání vodících ploch saní pily** (obr. č. 19) – zmiňované nedostatečné mazání vodících ploch způsobilo jejich poškození v takovém rozsahu, že došlo k výměně za nové vodící plochy. V současné době je nedostatečné mazání kompenzováno doplňkovým ručním mazáním, které provádí obsluha pily. Tento způsob nezaručuje spolehlivý chod saní pily a dávkování maziva. Proto je nutné navrhnout dodatečný mazací obvod, který bude implementován do původního systému mazání, či navrhnout úplně nový mazací systém.



obr. č. 18 – Vodící plochy saní pily

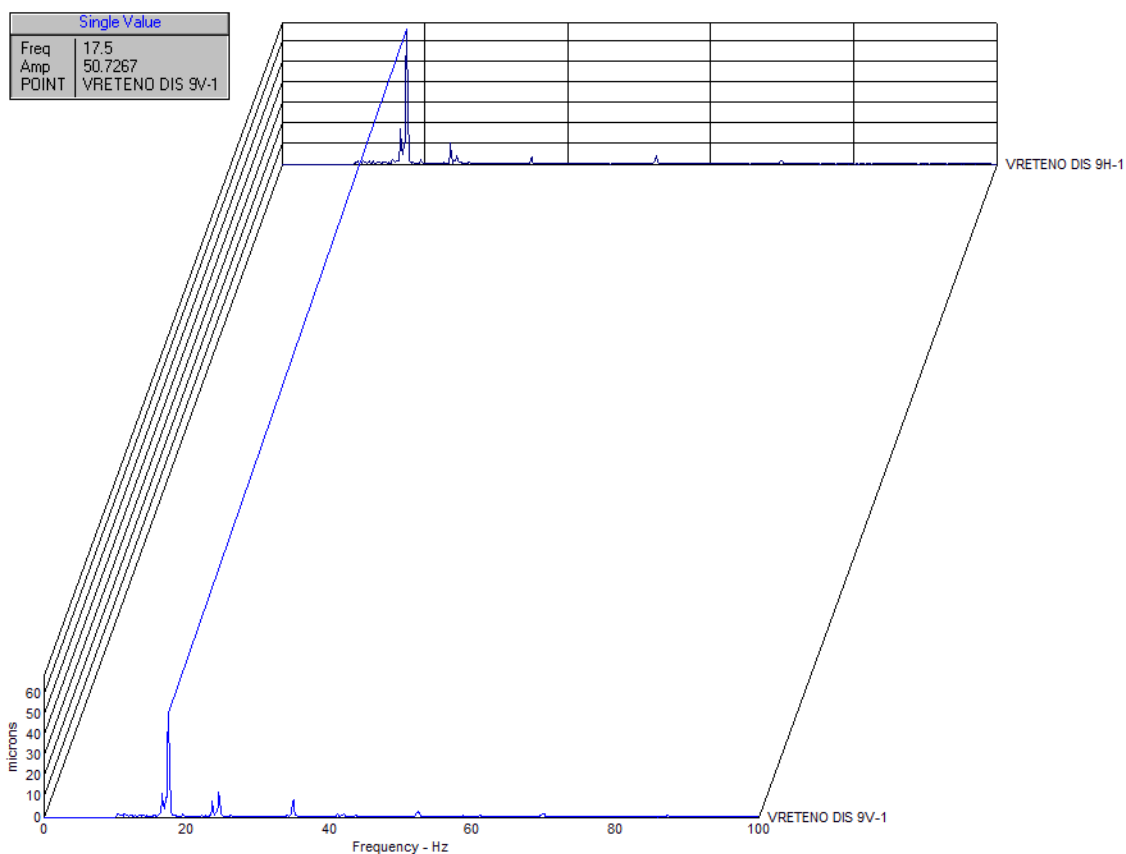
Kromě výměny vodících ploch byly také vyměněny ložiska na vřeteníku převodovky. Preventivní výměna ložisek byla provedena na základě prvního měření, kde naměřené hodnoty se dostaly do kategorie podle ČSN ISO 10816 - neuspokojivý stav. Tato indikace byla zjištěna při provozu v zatížení (v řezu), rychlosti řezu 85 m.min^{-1} a posuvu $0,09 \text{ mm/zub}$. Při měření za chodu naprázdno (rychlost kotouče 106 m.min^{-1} , posuv vypnutý) byl stav dle ČSN ISO 10816 v uspokojivých mezích.



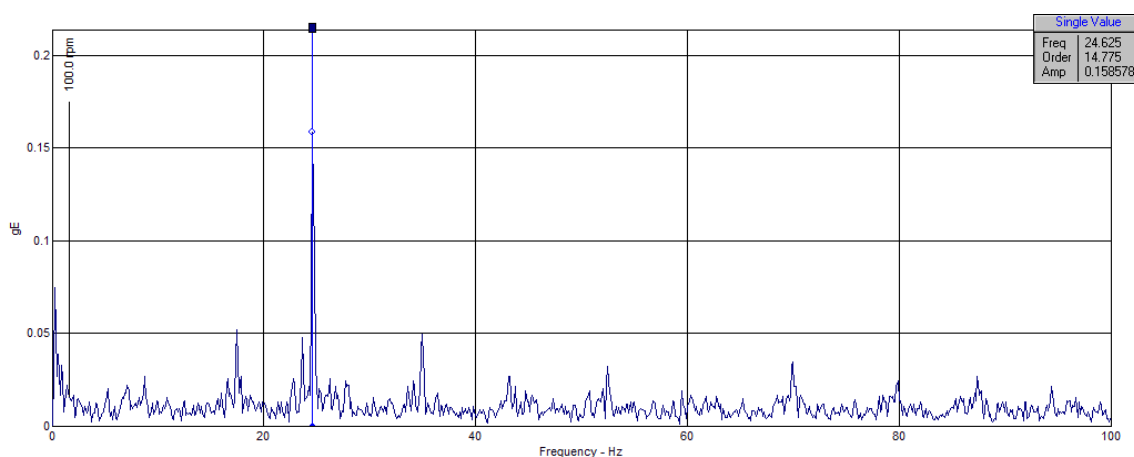
obr. č. 19 – Umístění měřících bodů

Měřící body :

- Bod č. 1 motor
- Bod č. 2 motor
- Bod č. 3 převodovka – vstup
- Bod č. 4 převodovka – vstup
- Bod č. 5 převodovka – mezihřídel
- Bod č. 6 převodovka – výstup (vřeteník)
- Bod č. 7 převodovka – výstup (vřeteník)

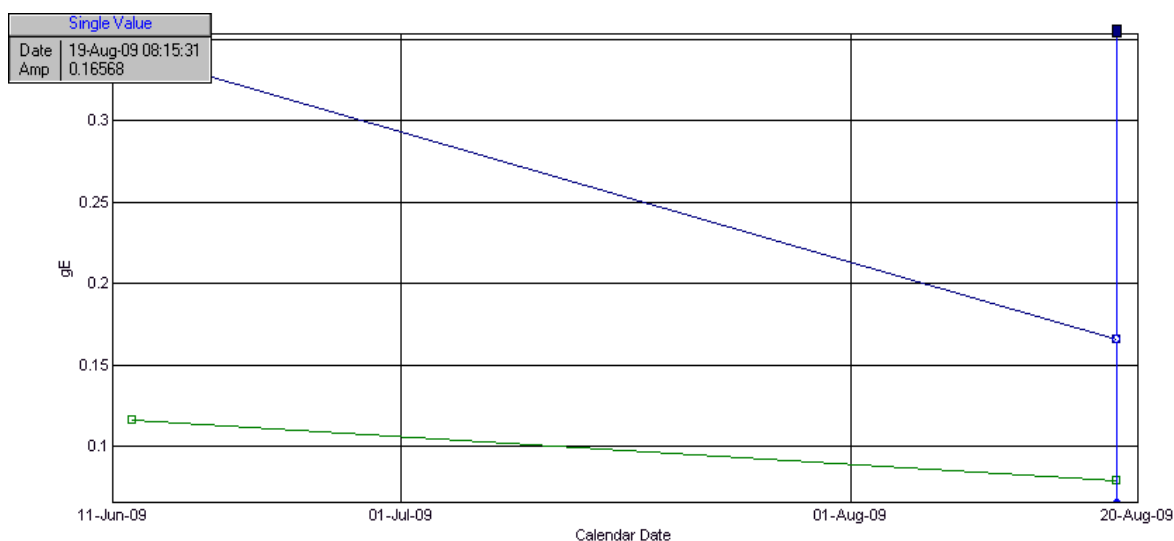


obr. č. 20 - Kaskáda spekter FFT výchylky vibrací - uložení výstupní hřídele převodovky (vřeteník) – řez - ve spektru je patrná amplituda na frekvenci 17,5 Hz - ložisková frekvence, velikost výchylky i rychlosti vibrací je neuspokojivá [13]



obr. č. 21 - Frekvenční spektrum FFT zrychlení vibrací gE, převodovky (měřící bod 6) – ve spektru patrné amplitudy na ložiskových frekvencích 17,5 Hz a 24 Hz - zhoršený stav [13]

Při kontrolním měření po preventivní výměně ložisek byl zaznamenán patrný pokles hodnot, které odpovídaly dle ČSN ISO 10816 - dobrý stav.



obr. č. 22 - Časový trend celkových hodnot FFT zrychlení vibrací gE – vřeteník (výstupní hřídel převodovky), měřící bod 6 a 7. Po výměně ložisek je patrný pokles celkových hodnot [13]

Samotná výměna ložisek dopomohla k zlepšení stavu vibrací na vřeteníku. Ovšem i po tomto zásahu dále dochází k výskytu chvění pilového kotouče, který má nepravidelný charakter. Z tohoto důvodu je nutné zvážit všechny možné příčiny, které by mohly vést ke vzniku vibrací na pilovém listu (řezné podmínky, řezaný materiál, vlastnosti pilového kotouče, ustavení celého zařízení, upnutí obrobku atd.). Důležitou roli zde budou také hrát informace poskytnuté od vedení údržby, pracovníků autonomní údržby a samotné obsluhy zařízení. Z důvodů neposkytnutí servisních záznamů, záznamů o opravárenských činnostech, případně konstrukčních zásazích, jsme odkázáni pouze na informace poskytnuté ústní formou od zmiňovaných zdrojů. Vliv na formu a množství poskytnutých informací má také stáří zařízení (15 let provozu). Podle vyjádření vedení údržby na pile dosud nebyla provedena generální oprava. Jediným zásahem byla zmiňovaná výměna vedení saní pily a preventivní výměna ložisek.

2 IDEOVÝ A TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENÍ DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU A DOPLŇKOVÉHO MAZÁNÍ

Tato kapitola se bude zabývat návrhem diagnostického systému strojní pily WHC 1430. Vzhledem k charakteru zařízení, bude diagnostický systém vypracován na základě multiparametrické diagnostiky. Druhá část kapitoly bude obsahovat popis současného CMS (centrální mazací systém) a návrh jeho rekonstrukce. Tato varianta rekonstrukce je navržena společností EMKOR Group, s.r.o. Vlastní způsob řešení CMS bude vypracován v kapitole 3.

2.1 Ideový návrh diagnostického systému [1]

Cílem diagnostického systému je určení technického stavu diagnostikovaného objektu a to diagnózy, prognózy, geneze. K dosažení tohoto cíle je zapotřebí diagnostických prostředků, což je dle ČSN EN 13 306:2002 – soubor technických zařízení, metod a pracovních postupů umožňující provádět analýzu a vyhodnocování technického stavu diagnostikovaného objektu.

Jak již bylo v úvodu řečeno, je zde využito multiparametrické diagnostiky. Uvedený přístup k provozní diagnostice je založen na použití několika různých diagnostických (měřících) metod. Výsledkem je pak přesnější určení vzniklých nebo vznikajících závad a celkového technického stavu sledovaného zařízení. Další velkou výhodou daného přístupu je, že umožní potvrzení odhalení závady, která se nedá plně zjistit při použití pouze jedné diagnostické metody. Z hlediska přístupu můžeme multiparametrickou diagnostiku rozdělit do dvou základních skupin:

- *Multiparametrická diagnostika využívající alternativních diagnostických metod* – pro příklad můžeme uvést diagnostiku defektu vnějšího kroužku valivého ložiska. Valivý element způsobí, při každém průchodu přes defekt kroužku, vznik opakovaného vibračního signálu. Hodnota tohoto signálu je ovšem tak malá, že se nedá zachytit běžnou metodou měření celkových vibrací. Což znamená, že naměřená data nemají vypovídající hodnotu o stavu diagnostikovaného zařízení. V tomto případě má své opodstatnění nasazení multiparametrického přístupu. Pro ilustraci můžeme uvést např. obálkovou metodu SEE (spektra emitted energy) - spektrální emitovaná energie. V oblasti tribodiagnostiky se jedná o kombinaci

jakýchkoli metod pro sledování stavu opotřebení strojních částí a sledování degradace maziva.

➤ *Multiparametrická diagnostika při použití několika metod technické bezdemontážní diagnostiky* – jak již sám název napovídá, jedná se o kombinaci vhodných metod bezdemontážní technické diagnostiky. Zde se nabízí hned několik možných kombinací např.:

- Vibrodiagnostika + tribodiagnostika + termodiagnostika
- Vibrodiagnostika + tribodiagnostika + optická defektoskopie
- Vibrodiagnostika + výkonové parametry (palubní diagnostika)
- atd.

2.2 Postup při návrhu diagnostického systému

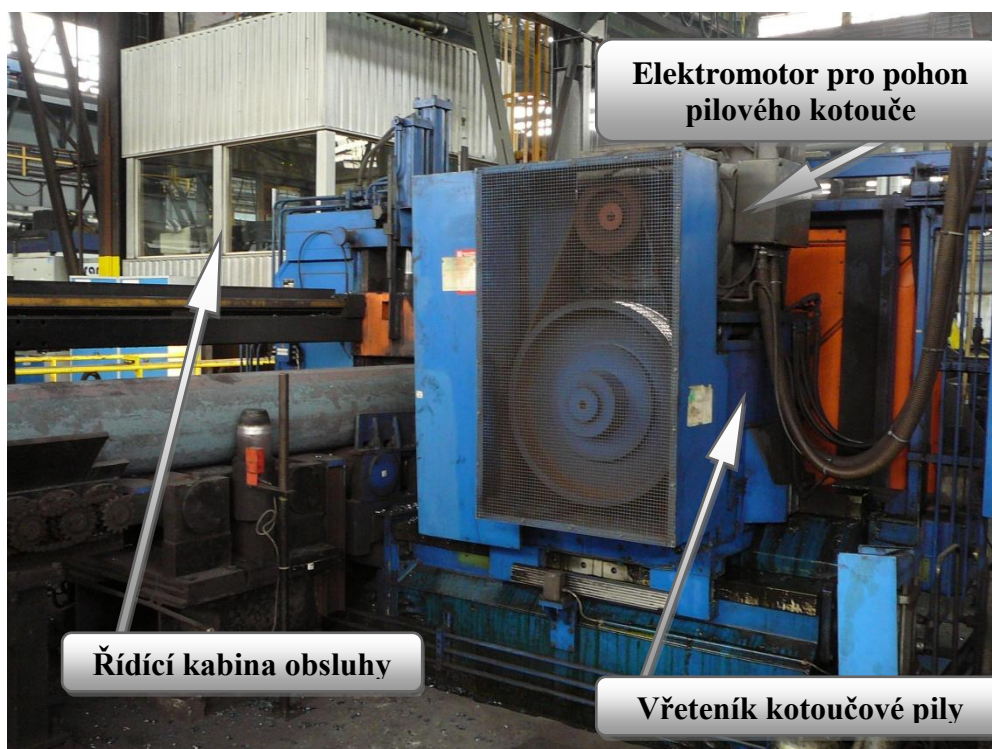
Princip návrhu tohoto diagnostického systému je založen na rozdělení strojního celku (strojní pily a jejího zařízení) na určité funkční skupiny. Po vyčlenění těchto skupin následuje zkoumání možností jakým způsobem, metodou nebo systémem, lze vytvořit soubor dat, který bude mít dostatečně vypovídající informaci o technickém stavu vyčleněné skupiny. Získaná data použijeme nejen pro vyhodnocení technického stavu jednotlivých skupin, ale i pro určení objektivního technického stavu strojního celku. Samozřejmě nabízí se možnost kombinace získaných dat mezi jednotlivými skupinami (multiparametrický přístup). Uvedená kombinace umožní kvalitnější detekci a diagnostiku závad.

Rozdělení strojního celku do skupin a možnosti použití diagnostických metod:

- **mechanická zařízení** – tuto skupinu tvoří stejnosměrný derivační motor pro pohon pilového kotouče a vřeteník kotoučové pily. Zde se nabízí možnost využití vibrační diagnostiky např. pro měření ložisek elektromotoru a převodové skříně, sledování stavu ozubení převodové skříně. Hnací moment od elektromotoru je na převodovou skříň přenášen pomocí řemenového převodu. To umožňuje opět použití vibrodiagnostiky pro sledování optimálního napnutí řemenů, kontroly excentricity řemenic, rezonance řemenů atd.

- **centrální mazací systém** – současný CMS neumožňuje žádnou kontrolu dávkování maziva. Daný problém bude vyřešen návrhem nového CMS, který bude opatřen monitorovacími a ochrannými prvky, které zaručí 100% kontrolu dodávky maziva. Nově navržený obvod umožní tzv. palubní diagnostiku (např. monitorování tlaku za čerpadlem pomocí manometru, hlášení chyby při poruše dávkování maziva pomocí bezkontaktních snímačů). Další podrobnosti o vlastním návrhu CMS jsou uvedeny v kapitole č 3.
- **hydraulické zařízení** - zajišťuje upnutí děleného materiálu. Zde se nabízí celá řada metod. Můžeme jmenovat např. termodynamickou metodu. Tato metoda souvisí s metodou parametrickou. Cílem je stanovení základního parametru prvku pomocí měřené teploty. Termodynamická metoda umožňuje spolehlivě určit parametry jako, krouticí moment, průtok, atd. Také se nabízí již zmiňovaná palubní diagnostika. Další metodou může být hodnocení emise ultrazvukového signálu, která slouží k odhalení kavitace a netěsností. Výhodou této metody je, že není nutné do hydraulického obvodu instalovat čidla teploty nebo tlaku. Vyhodnocují se emise ultrazvukového signálu, které vznikají změnou tlaku a průtoku v obvodu. Dále můžeme provádět tribodiagnostiku hydraulického oleje. V průběhu provozování stroje dochází k změně jakosti hydraulického oleje. Příčinou změny jakosti jsou tři základní faktory: chemické stárnutí, obsah mechanických nečistot, obsah vody.
- **řídící kabina obsluhy** – na tomto místě se řídí řezný proces dvou strojních pil. Celé řízení je zajištěno pomocí výpočetní techniky. To umožňuje vytvářet databázi s informacemi o každém řezném procesu. Databáze obsahuje informace jako doba trvání řezu, rychlost posuvu, obvodová rychlost řezného kotouče, rozměry řezaného polotovaru a druh materiálu, průběh krouticího momentu v závislosti na čase, atd. Tyto informace mohou významným podílem přispět k odhalení nebo naopak k vyloučení možných příčin vzniku určité závady.

Pro přehlednost rozdělení strojní pily WHC 1430 a jejího zařízení na 4 funkční skupiny, následuje sérii fotografií s popisem.



obr. č. 23 – Funkční skupiny - mechanická zařízení, řídící kabina obsluhy



obr. č. 24 – Funkční skupina – centrální mazací systém



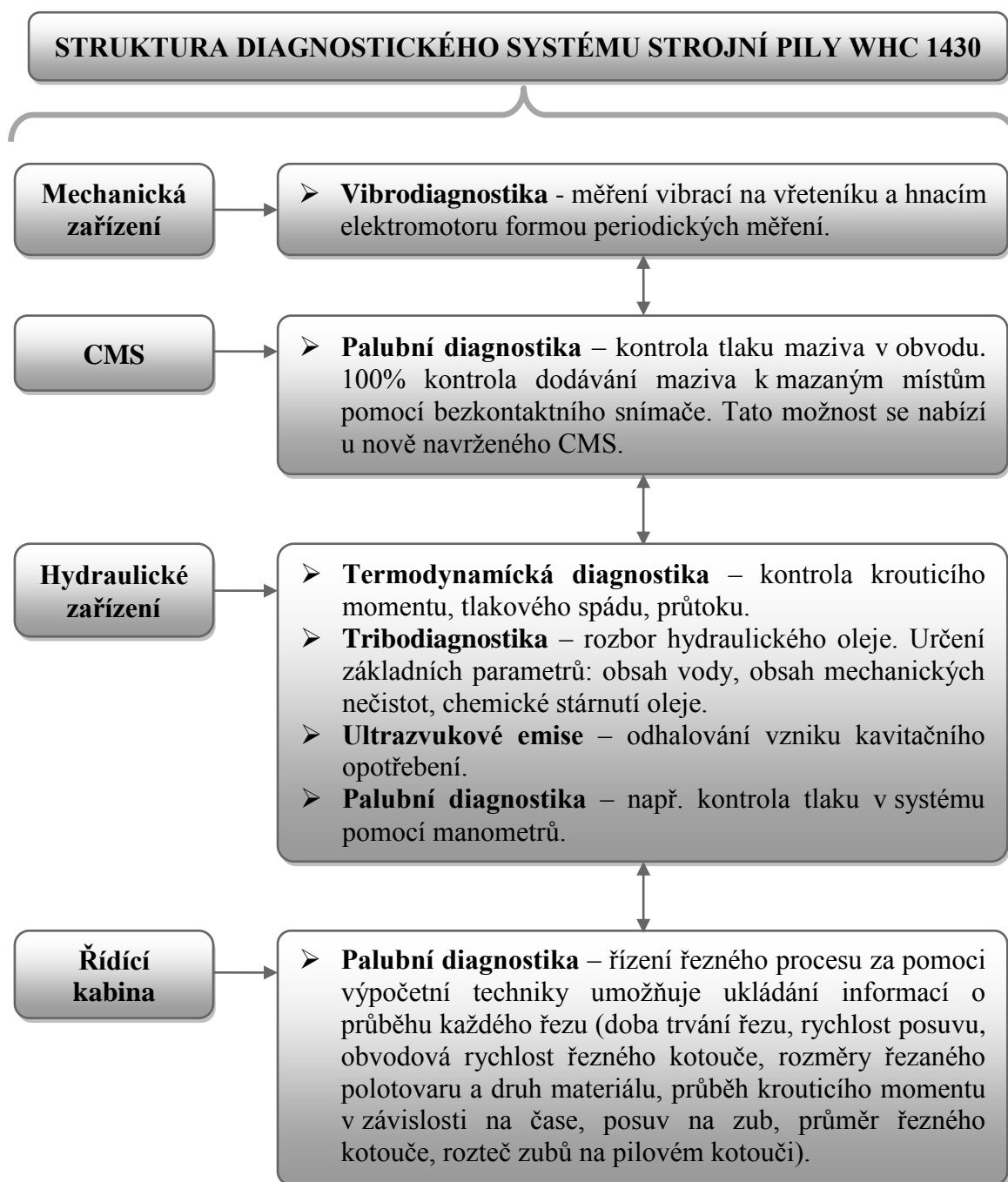
obr. č. 25 – Hydraulický agregát
Rexroth (objem nádrže 250 dm³)



obr. č. 26 – Hydraulické upínání
kontislitků

Vhodným doplňkovým nástrojem diagnostického systému by mohlo být zavedení tzv. provozní knihy. Kniha by obsahovala záznamy o předávání směny, kontroly mechaniků a popis vzniklých poruch, včetně jejich příčin a projevů. Takto vzniklý soubor informací může například posloužit k vyhledávání závislostí vzniků poruch nebo jako doplňková informace k identifikaci příčiny vzniklé závady.

Návrh tohoto opatření vzešel z absence dokumentu mapující dosavadní technický život zařízení. Při zjišťování informací o změnách, zásazích a poruchách za dobu provozu stroje, mně byly poskytnuty pouze informace o nedávných opravách a konstrukčních úpravách. Tedy nebylo možné zjistit zásahy provedené na zařízení, za celou dobu jeho provozování. Vzhledem k stáří zařízení je to pochopitelné. Ovšem tento nedostatek informací by nenastal při vedení navrhovaného deníku. Každý zaznamenaný zásah do zařízení by mohl pomoci odhalit např. příčinu vzniku vibrací na pilovém kotouči. Období, ve kterém se začaly vyskytovat vibrace, by bylo možné porovnat s obdobím zaznamenané v deníku oprav. Poté by se prověřili nebo eliminovali případné možnosti příčiny vzniku vibrací.



obr. č. 27 – Struktura diagnostického systému

2.3 Popis rekonstrukce mazacího systému

Jak již bylo řečeno v kapitole 1.6, stav CMS je nevyhovující. Jeho provoz způsobuje ztráty zapříčiněné ne hospodárným mazáním stroje. Jeho neschopnost dávkovat mazivo do mazaných míst ve správném množství, přidává další a zbytečný pracovní úkon pro obsluhu zařízení. Obsluha musí ručně, v pravidelných intervalech, zajišťovat dodatečné

mazání. Nevyhovující mazání způsobuje opotřebení funkčních ploch saní pily. To vše ve svém důsledku přispívá k neekonomickému provozu strojního zařízení. Jediným řešením, jak zajistit hospodárný a technicky vyhovující systém mazání je návrh nového CMS a jeho rekonstrukce.

Současný CMS

Jedná se o škrťací centrální mazací systém. To znamená, že mazací přístroj dodává mazivo do hlavního rozvodného potrubí. Potrubí o průměru 6 mm je spojeno s rozvodnými kostkami, ve kterých jsou umístěny škrťací jednotky, které propouští dané množství maziva do potrubí o průměru 4 mm vedoucí k mazaným místům. Požadovaná dávka maziva je zajištěna volbou vhodné škrťací jednotky. Mazací systém je složen z čerpadla STATOFLEX, typ. UF 50E3VA000/ AE00 / 4 / 93 (obr. č. 26), čtyř rozvodných kostek s přiřazenými škrťacími prvky, které zajišťují dodávku maziva do třinácti mazaných míst na strojní pile. Mazací systém také dodává mazivo do jednoho bodu na dopravníku kontislitků. Výkon čerpadla je 0,09 kW. Obsah nádrže je 6 litrů. Další parametry jsou uvedeny z jiného typu čerpadla řady MEF5 – KW6 + 299 od firmy SKF. Toto čerpadlo bylo vyhledáno na základě uvedeného výrobního čísla stávajícího čerpadla. Zjištěné parametry tedy jsou: průtok – $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, tlak – 25 bar. Nutnost odvození parametrů vznikla na základě nedochované technické dokumentace a výrobního štítku (obr. č. 27), který obsahoval pouze název výrobce a výrobní číslo. Samotný výrobce již neexistuje.

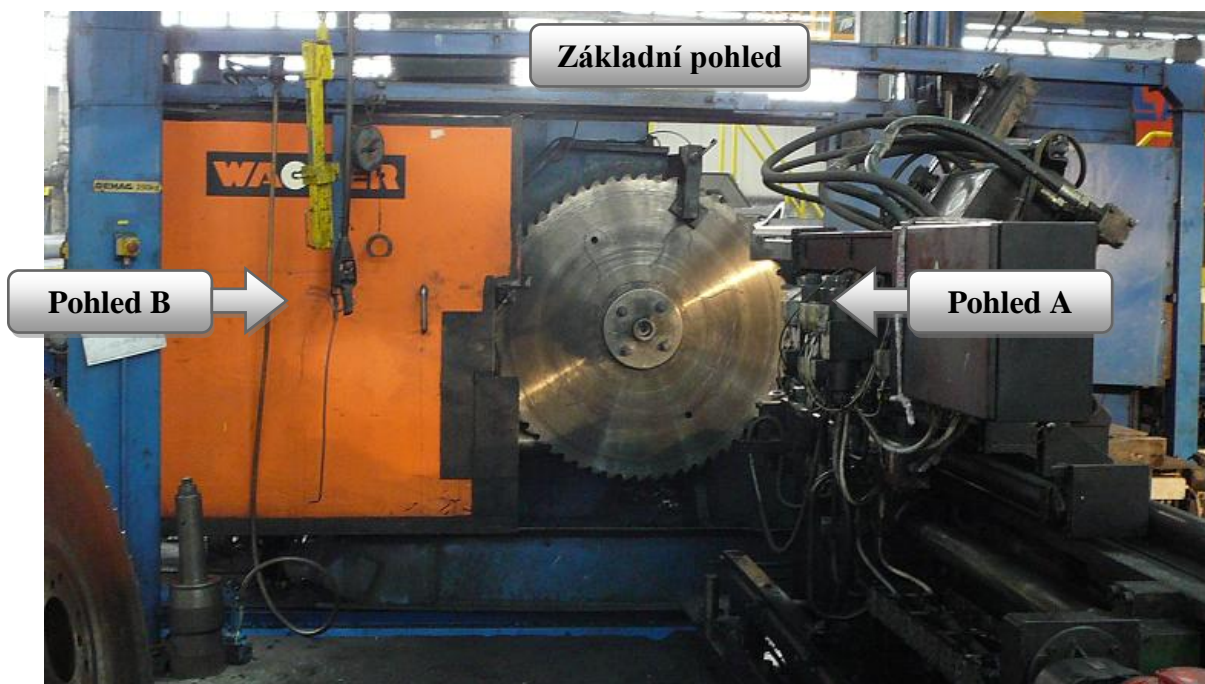


obr. č. 28 – mazací agregát firmy STATOFLEX, typ. UF 50E3VA000/ AE00 / 4 / 93

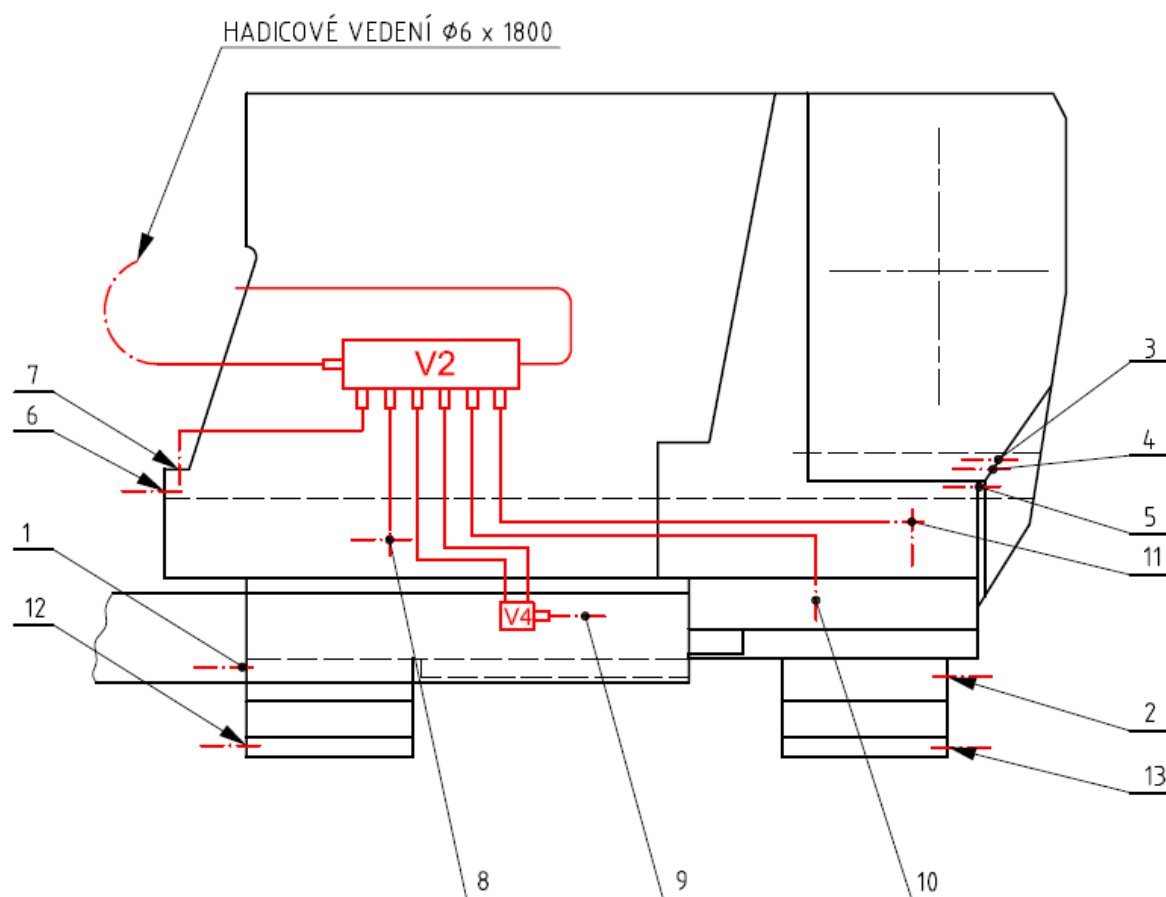


obr. č. 29 – Výrobní štítek mazacího agregátu Statoflex

Jak již bylo řečeno v kapitole 2.2, současný CMS má velmi omezené možnosti kontroly jeho provozu. Není vybaven manometrem, neumožňuje kontrolu ucpání dávkovacích trysek atd. Má pouze základní ochranu, která je zahrnuta v rámci mazacího agregátu (spínač maximální a minimální hladiny v nádrži, tlakový spínač). Při vizuální obhlídce jsem zaznamenal viditelné poškození třecích ploch pily. Toto poškození ovlivňují dva hlavní faktory: vnik kovových pilin mezi třecí dvojici, nedostatečně mazané plochy. Poškození saní pily má charakter dlouhých rýh, které jsou rovnoběžné se směrem pohybu posuvu. Následující obrázky ilustrují umístění mazacích bodů a rozvodných kostek.



obr. č. 30 – Základní pohled – fotografie



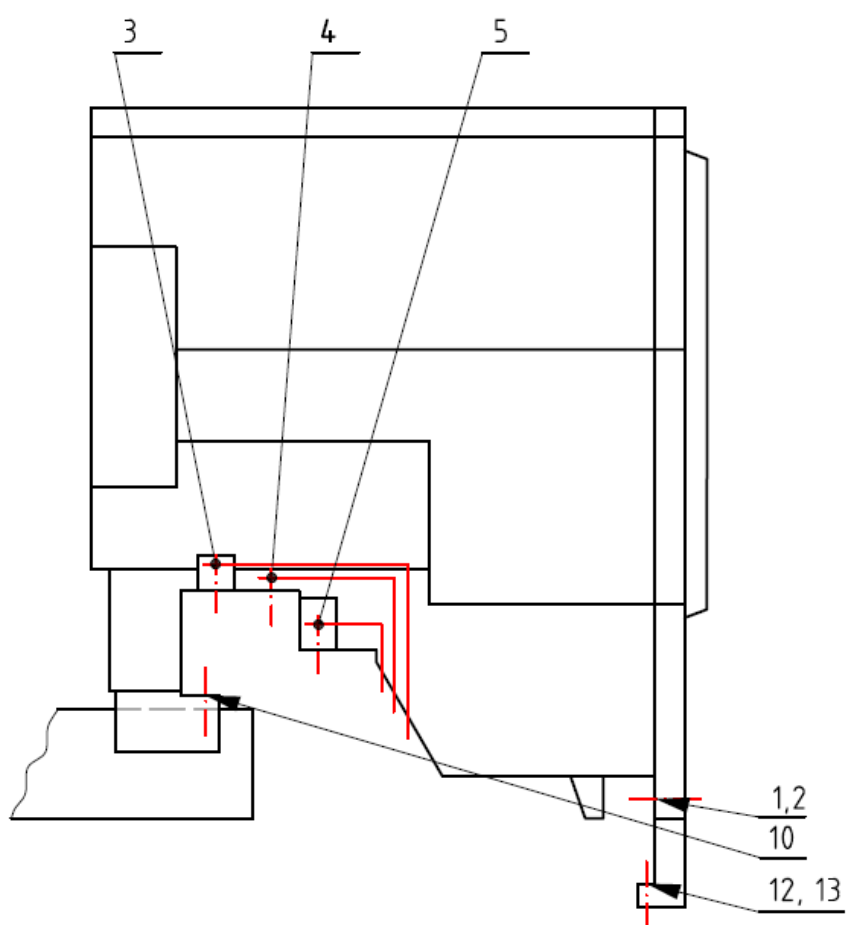
obr. č. 31 – Základní pohled – schéma bodů a rozvodů mazání

Č. pozice	Mazaná plocha [-]	Rozměr plochy [mm]	Č. pozice	Mazaná plocha [-]	Rozměr plochy [mm]
1	Vodící plocha	1000 x 100	8	Vodící plocha	2000 x 100
2	Vodící plocha	1000 x 100	9	Kuličkový šroub	ø 10 x 1500
3	Přední kluzná plocha	70 x 400	10	Přítlačná kluzná plocha	70 x 400
4	Vodící plocha	1000 x 200	11	Vodící plocha	1000 x 100
5	Přední kluzná plocha	70 x 400	12	Přítlačná kluzná plocha	50 x 400
6	Zadní kluzná plocha	70 x 400	13	Přítlačná kluzná plocha	50 x 400
7	Vodící plocha	2000 x 200	14	Ložisko dopravníku	

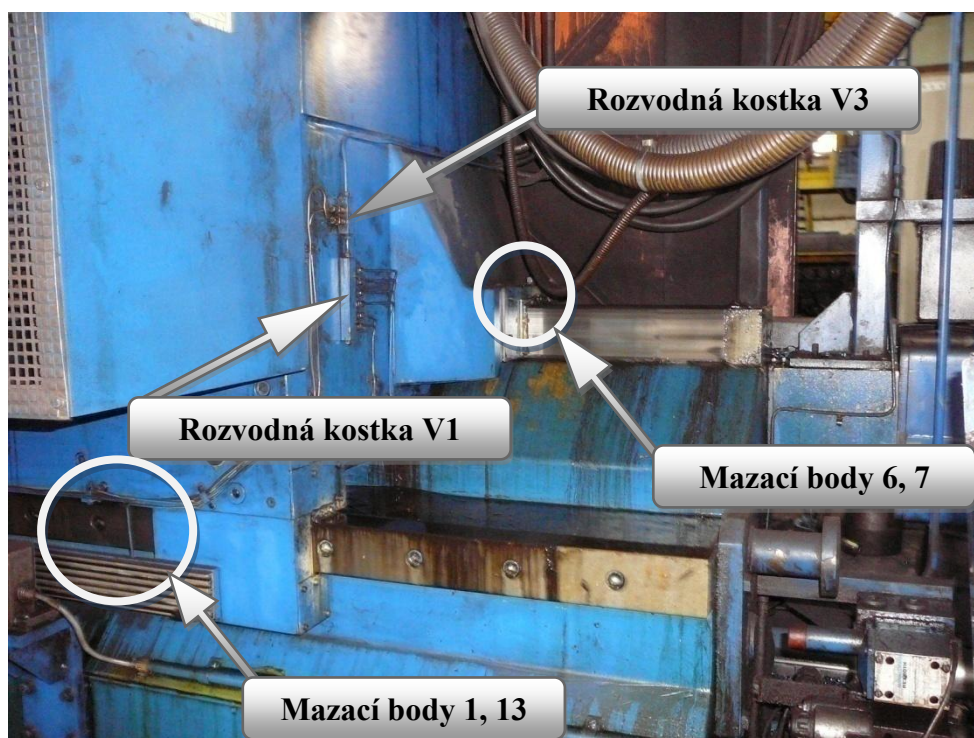
tab. č. 1 – Tabulka mazaných míst



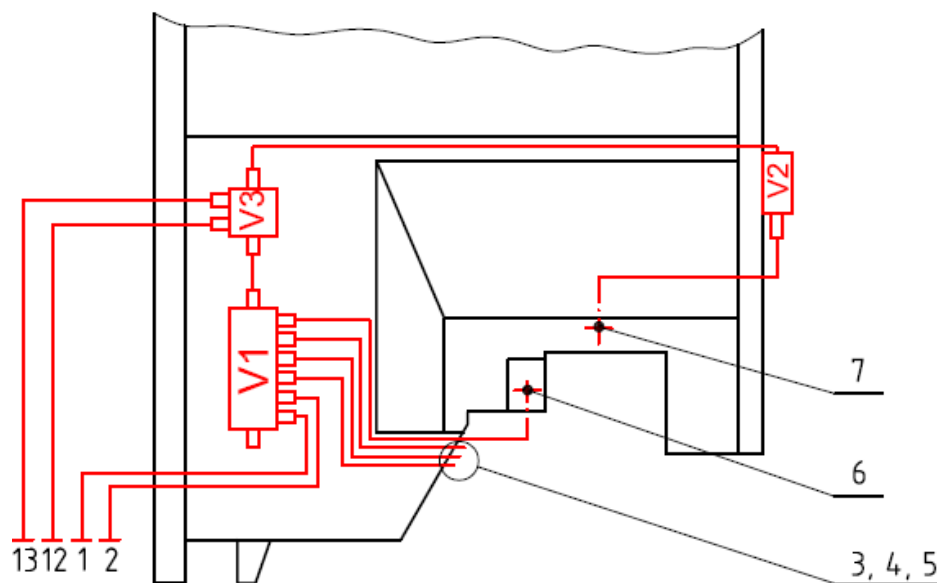
obr. č. 32 – Pohled A - fotografie



obr. č. 33 – Pohled A - schéma bodů a rozvodů mazání



obr. č. 34 – Pohled B – fotografie



obr. č. 35 – Pohled B - schéma bodů a rozvodů mazání

Obr. č. 29, 31, 33 jsou použity z výkresu mazacího plánu. Plán ovšem nemapuje mazací bod č. 14, což je mazání ložiska dopravníku. Tento bod byl dodatečně přidán. Potrubí za mazacím agregátem je rozděleno T spojkou na dvě větve, mazání ložiska dopravníku a mazání pily.



obr. č. 36 – T spojka dělicí mazací okruh

Návrh řešení rekonstrukce CMS

Idea rekonstrukce CMS navržená firmou EMKOR Group s.r.o. spočívá v rozdělení mazání pily a mazání ložiska dopravníku. Stávající agregát, kde dávkování maziva je řízeno časovým relé, by byl ponechán a využit pouze pro mazání ložiska dopravníku. Na oddělenou větev obvodu mazání pily bude napojen samostatný mazací agregát. Jeho řízení bude také zajištěno časovým relé. Takto řízený agregát umožní optimální naprogramování dávkování maziva. Stávající systém s jedním řídicím relé neumožňuje optimální načasování dávek pro obě větve. Tím dochází k nedostatečnému mazání třecích ploch saní pily a jejich následnému poškození.

Toto řešení má několik výhod. Např. využívá celého současného CMS (rozvodných kostek, mazacích bodů, potrubí, čerpadla). Rekonstrukce tedy bude vyžadovat:

- rozdělení okruhu na dvě samostatné větve
- úprava vhodného místa pro instalaci agregátu
- připojení obou agregátů ke svým mazacím obvodům
- elektroinstalace agregátu (připojení k elektrické síti, zapojení řídicího relé)
- naprogramování optimálního intervalu dávkování maziva

Z tohoto výčtu vyplývají další výhody. Jednoduchost instalace zajistí časovou nenáročnost a tím minimalizaci ztrát vzniklých odstavením zařízení z provozu. Jednoduchost provedení rekonstrukce také zajistí minimální náklady za provedenou instalaci. Využití stávajících prvků CMS snižuje náklady při pořizování prvků nových.

Tohle řešení má ovšem i nevýhody. Jedná se o možnost kontroly dávkování maziva. Jak již bylo řečeno, současné rozvodné, a dávkovací prvky neumožňují žádnou kontrolu dávkování maziva. Rekonstrukce CMS, z hlediska kontroly a zajištění správného chodu, zajistí pouze modernější zdroj tlakového maziva. Provoz strojní pily je spojen se vznikem třísek, které mohou způsobit ucpání mazacích trysek. Současný systém není schopen detekovat vznik této poruchy. Výměna dávkovacích a rozvodných prvků např. za progresivní rozdělovače, by tento problém vyřešilo. Díky bezkontaktním snímačům, má uživatel 100% možnost kontroly dávkování. Návrh využití progresivního CMS bude podrobně zpracován v kapitole 3.

3 PROJEKČNÍ NÁVRH DOPLŇKOVÉHO MAZÁNÍ VODÍCÍCH PLOCH

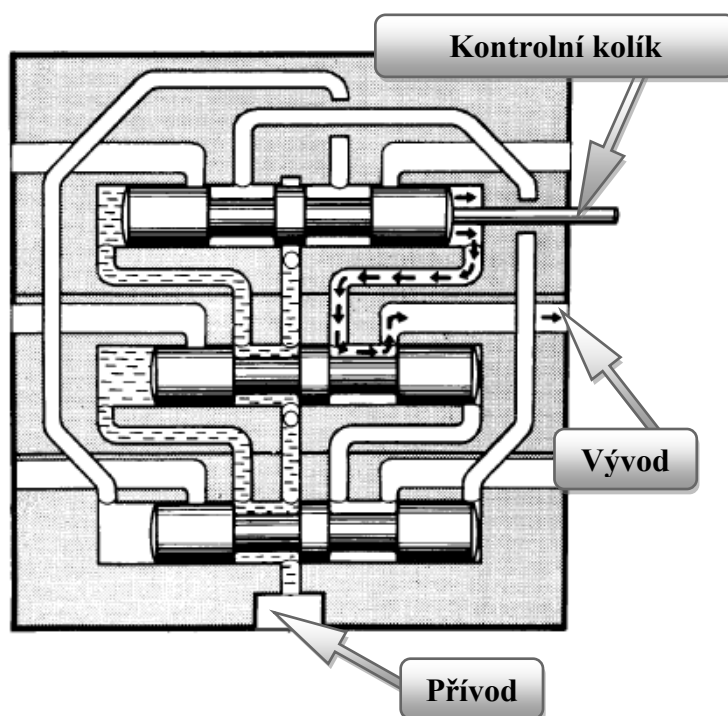
Kapitola 3 obsahuje vlastní návrh řešení mazacího systému. V úvodu kapitoly je popsán princip řešení a popis jednotlivých prvků tvořící navržený CMS. Jsou zde také uvedeny výhody tohoto řešení. Následuje projekční část navrhovaného systému. V závěru kapitoly je uveden výčet kladů a záporů v porovnání s řešením společnosti EMKOR Group, s.r.o.

3.1 Popis progresivního CMS [14] [15] [16] [17]

Progresivní CMS je používán pro mazání strojů a strojních zařízení (obráběcí stroje, tvářecí stroje, textilní stroje, podvozky a technologické nástavby mobilních zařízení, atd.). Umožňuje mazání cca 100 mazacích míst (MM).

Progresivní rozdělovač slouží k dávkování maziva dodávaného mazacím přístrojem do MM. Případně může dávkovat mazivo pro další rozdělovač. Jedná se o pasivní prvek mazacího obvodu. To znamená, že do pracovní činnosti se uvede pomocí zvýšeného tlaku maziva na jeho vstupu. Dávkování maziva v určitém objemu se docílí pomocí pohyblivých

pístů s funkčními zápichy a soustavou přepouštěcích otvorů. Jeho pracovní režim začíná přívodem tlakového maziva dodávaného mazacím přístrojem na přívodní sekci. Tlak maziva musí být větší než hydraulický odpor na jednotlivých vývodech rozdělovače. V okamžiku přívodu maziva dojde vždy jen k pohybu jednoho pístu jedné sekce. Pohybující se píst vytlačuje mazivo přes otvory a zápich pístu do výstupního otvoru sekce bližší k přívodní sekci. To ovšem neplatí pro přívodní sekci. V okamžiku dokončení pohybu pístu nastává stejný režim pro píst další sekce, která je blíže k závěrné sekci. Píst přívodní sekce pracuje do vývodů sekce závěrné. Popsaný režim pohybu pístů se neustále opakuje do doby, kdy hydraulický tlak přivedeného maziva bude menší než tlak na vývodech z rozdělovače.



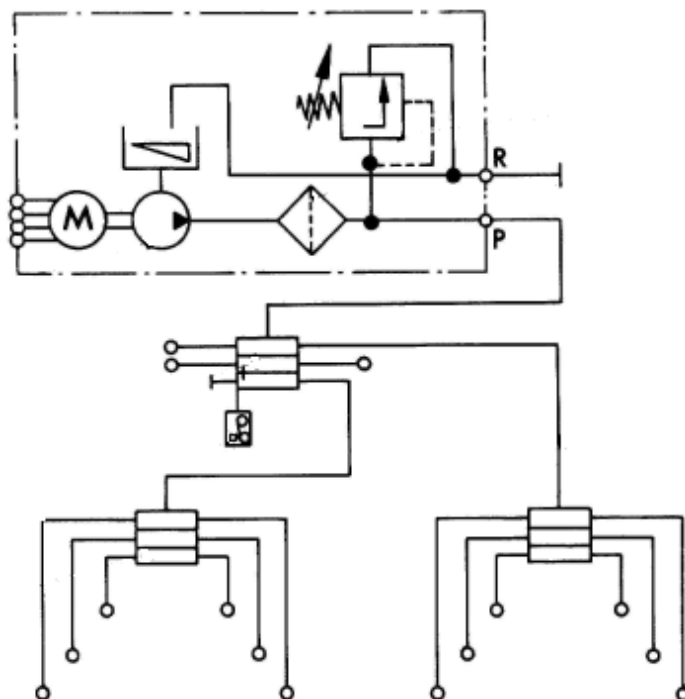
obr. č. 37 – Princip funkce progresivního rozdělovače [14]



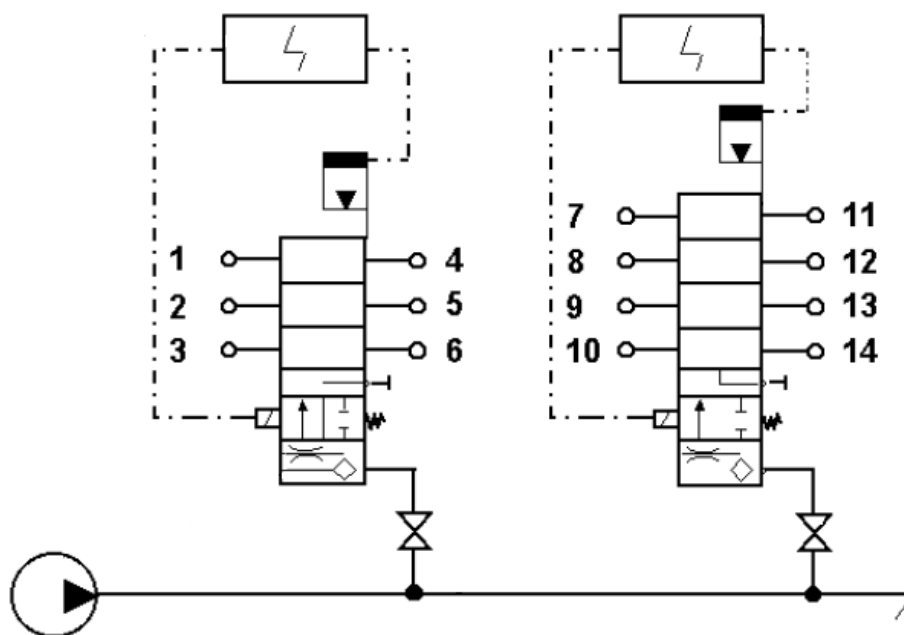
obr. č. 38 – Progresivní rozdělovač [15]

Způsoby zapojení rozdělovače:

- **Sériové** – rozdělovače jsou řazeny za sebou. Jedná se o nejčastěji používaný způsob zapojení (obr. č. 37). Jeho předností je jednoduchá kontrola dodávky maziva do všech MM. Stačí pouze hlídat pohyb jednoho kontrolního kolíku kteréhokoli rozvaděče.
- **Paralelní** – progresivní rozdělovače se řadí vedle sebe. Paralelní zapojení vyžaduje speciální provedení rozdělovačů, které umožňuje jejich propojení. Kontrola dodávky maziva je zajišťována stejným způsobem. Při provozu se tlakové ztráty na jednotlivých rozdělovačích nesčítají.
- **Skupinové** – rozdělovače jsou řazeny vedle sebe a každý je přes uzavírací ventil spojen s hlavním rozvodným potrubím (obr. č. 38). Tlakové ztráty na jednotlivých rozvaděčích se nesčítají. Skupinové uspořádání umožňuje snadné zapojení (odpojení) jednotlivých skupin MM, aniž by došlo k omezení funkce ostatních skupin.
- **Kombinované** – jedná se o vhodnou kombinaci všech předešlých variant zapojení. Kombinace umožňuje využití výhod základních zapojení, případně odstranění jejich nevýhod.



obr. č. 39 – Sériové zapojení progresivních rozdělovačů [14]



obr. č. 40 – Skupinové zapojení progresivních rozdělovačů [14]

Pracovní režim progresivního CMS

Automatický progresivní CMS má dva režimy provozu – spojitý pracovní režim, přerušovaný pracovní režim.

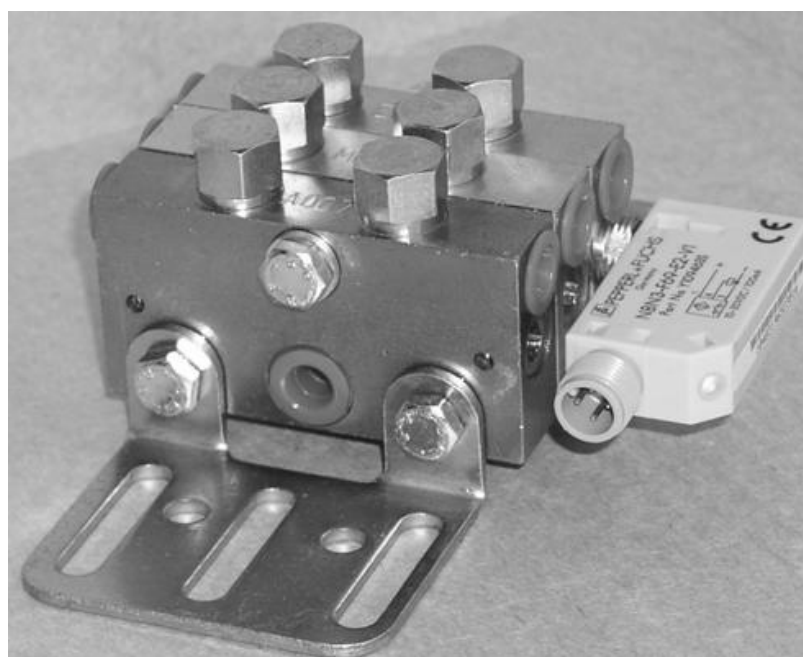
Spojité režim uvádí mazací přístroj do chodu ve chvíli, kdy dojde ke spuštění mazaného zařízení (stroje). Mazací látka je přiváděna do MM v opakujících se cyklech po dobu chodu mazaného zařízení.

Přerušovaný režim automaticky opakuje různé intervaly dodávky maziva. Intervaly dodávání maziva jsou závislé na provozu mazacího agregátu. Podle nastavení a provedení řídicí automatiky máme libovolné možnosti řízení mazacího agregátu (intervaly zapnutí a vypnutí mazacího agregátu). Řízení může být závislé, buď na čase, nebo na zatížení mazaného stroje.

Bezkontaktní snímače

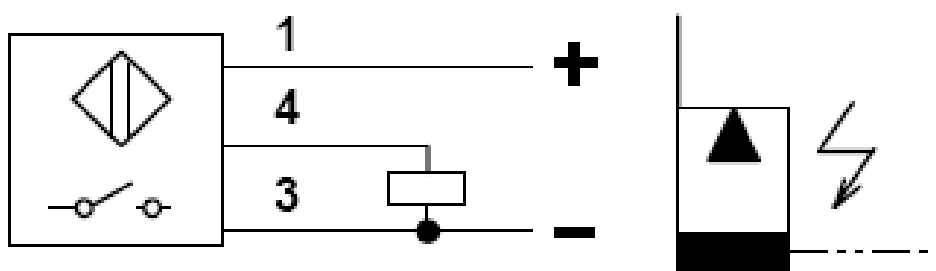
Slouží pro kontrolu dodávky maziva do MM. Hlídá pohyb kontrolního kolíku rozdělovače. V případě, že v aktivním prostředí snímače není kovový předmět, není na výstupních svorkách 3,4 napájecí napětí. Při zasunutí kontrolního kolíku do aktivního

prostoru dojde k elektrickému sepnutí snímače (elektrická změna stavu na výstupu – na svorkách 3,4 je napájecí napětí). Snímač je opatřen žlutou LED diodou, která indikuje sepnutý stav výstupu. Při ucpání přívodních trysek maziva, prasknutí dávkovacího pístu, atd., dojde k přerušení pohybu dávkovacích pístů a tím i kontrolního kolíku. Snímač to zaznamená a indikuje poruchový stav.



obr. č. 41 – Bezkontaktní snímač [16]

Bezkontaktní snímač je uzavřen v pevném plastovém obalu. Nelze zasahovat do jeho vnitřní části. Snímač je vybaven stavěcím šroubem M3 s vnitřním šestihranem pro zajištění polohy snímače. Elektrické připojení je zajištěno konektorem s vnějším závitem M12x1. Snímač je odolný proti korozi, prachu, mazivu a vlhkosti. Nedochozí zde k mechanickému opotřebení. Disponuje velkou spolehlivostí.

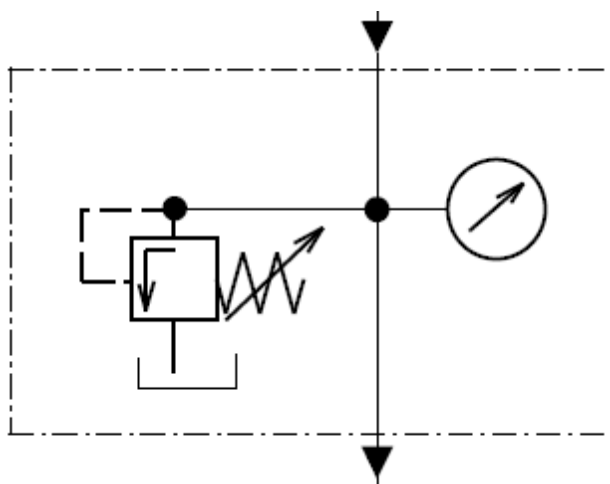


obr. č. 42 – Vlevo značení na snímači (1,4,3 – svorky), vpravo schematické značení [16]

Kontrolní kostka pro jeden vývod mazacího přístroje

Dané zařízení se používá u přístrojů s jedním vývodem maziva. Kostka slouží ke společnému umístění pojišťovacího ventilu a kontrolního manometru. Může být umístěna kdekoli v mazacím obvodu mimo mazací zařízení.

Je to průchozí prvek, který se nejčastěji umísťuje mezi mazací přístroj a první rozdělovač. Tohle ideální místo umožňuje měření provozního tlaku za mazacím přístrojem a případnou reakci pojišťovacího ventilu na možné přerušení chodu progresivního rozdělovače. Kostka je složena z ocelového tělesa, kontrolního manometru, hydraulických šroubení, pojistného ventilu.



obr. č. 43 – Schematické značení kontrolní kostky pro jeden vývod [17]

Výhody progresivního CMS:

- ❖ Vysoká spolehlivost provozu, odolnost proti mechanickému poškození a vlivů prostředí
- ❖ Snadná automatizovatelnost.
- ❖ Velká variabilita použití.
- ❖ 100% kontrola dodávky maziva do všech MM.
- ❖ Není potřeba speciální funkce zdroje tlakového maziva.
- ❖ Možnost kombinace uspořádání rozdělovačů, volba velikosti pracovních pístů, spojování vedlejších a protilehlých vývodů.

3.2 Projekční návrh doplňkového mazání vodících ploch

Dříve uvedená kapitola 2 prozrazuje, že vlastní návrh mazání se opírá o využití progresivního CMS. Významnou částí navrhované rekonstrukce mazání jsou progresivní rozdělovače. Ty poskytují velkou variabilitu při rozdělování objemu dávek maziva a spolehlivou kontrolu nad jeho dopravou k MM.

Samotné řešení umožňuje využití stávajících mazacích bodů a část potrubí rozvádějící mazivo k MM. Mazací obvod se skládá ze zdroje tlakového maziva (elektromotor, zubové čerpadlo, hladinoměr, zásobník maziva), bezpečnostní kostky (manometr, pojistný ventil, hydraulické šroubení, ocelové těleso), progresivních rozdělovačů, bezkontaktního snímače, potrubí.

Dávkování tlakového maziva je zajišťováno pomocí časového relé. To umožní načasování vhodného intervalu sepnutí a vypnutí čerpadla. Interval sepnutí čerpadla budou podřízené podmínce chodu pohonu posuvu pily. To znamená, že samotné intervaly dávkování čerpadlem probíhají pouze po dobu, kdy je v chodu pohon posuvu pily (třífázový servomotor).

Mazání ložiska dopravníku je vyřešeno rozvaděčem 3/2 řízeného elektromagnetem. V době rozběhu dopravníku přepne rozvaděč tok maziva k ložisku a zároveň se sepne čerpadlo mazacího agregátu. To vše na dobu nutnou pro optimální dávku maziva. Konflikt řízení dávkování maziva pro pilu a ložisko je vyloučen. Při řezném procesu (pohon posuvu pily je v chodu) dopravník stojí. Jeho rozběh začne, až po ukončení zpětného posuvu pily (pohon posuvu je vypnut).

Postup určování dávky maziva do jednotlivých MM

Při konzultaci u firmy ŠPONDRA CMS, spol. s r.o. mně bylo doporučeno přidělování dávek maziva na principu procentuálního rozdělení mazaných ploch. To znamená, že ze součtu celkové plochy se vypočte podíl jednotlivých ploch v procentech. Podle hodnoty procentuálního podílu každé plochy se přidělí objem maziva odpovídající procentům jednotlivých ploch. Důležitým údajem je objem maziva spotřebovaný za danou dobu ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$). Vzhledem k charakteru současného mazání tento objem nelze určit. Je to zaviněno současným způsobem dávkování maziva, které není dostačující. Dalším faktorem je individuální dodatečné dávkování maziva, které je zajišťováno obsluhou.

Ta polévá lože konví s olejem. Vlivem těchto dvou podmínek nejde určit optimální objem maziva. Na základě zmiňovaného problému mně byla doporučena dávka maziva, která vychází ze zkušeností jmenované firmy (na plochu $x \text{ cm}^2$ případně $x \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$). Na její přání tuto hodnotu nebudu zveřejňovat. Díky této informaci jsem vypočetl objem maziva dodaný pro každé MM za 1 minutu (průtok – $Q [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$). Podle celkového objemu maziva (průtok) jsem zvolil vhodný agregát a velikost nádrže.

Dalším krokem je volba progresivních rozdělovačů a jejich uspořádání. Zvolil jsem rozdělovače **ZP – A (C)** v sériovém zapojení. Rozdělovače jsou rozděleny do 4 bloků. První blok je hlavní (primární rozdělovač), zajišťuje rozvádění maziva do sekundárních rozdělovačů. Ty pak dávkují mazivo do MM. Vhodnou kombinací velikostí pístů rozdělovačů a spojováním jejich dávek (spojení obou dávek maziva vnitřní sekce, spojení dávek maziva se sousední sekci) jsem docílil procentuálního podílu dávek maziva na vývodech rozdělovačů, které přibližně odpovídají procentuálně vyjádřeným dávkám maziva vypočtených z obsahu ploch.

Č. pozice	Název mazaného místa [-]	Obsah mazané plochy [cm ²]	celková plocha [cm ²]	Podíl ploch [%]	Dávka maziva [cm ³ /min]
1	Vodící plocha	1000	15232,39	6,6	5
2	Vodící plocha	1000		6,6	5
3	Přední kluzná plocha	280		1,8	1,4
4	Vodící plocha	2000		13,1	10
5	Přední kluzná plocha	280		1,8	1,4
6	Zadní kluzná plocha	280		1,8	1,4
7	Vodící plocha	2000		13,1	10
8	Vodící plocha	2000		13,1	10
9	Kuličkový šroub	4712,39		30,9	23,6
10	Přítlačná kluzná plocha	280		1,8	1,4
11	Vodící plocha	1000		6,6	5
12	Přítlačná kluzná plocha	200		1,3	1
13	Přítlačná kluzná plocha	200		1,3	1

tab. č. 2 – Tabulka procentuálního podílu ploch a přidělené dávky maziva

Z důvodů vysokých rozdílů v procentuálním podílu ploch (dávce maziva) jsem rozdělil plochy tak, aby každý rozdělovač měl téměř stejný podíl při dávkování maziva. To zjednodušilo kombinování a skládání rozdělovačů.

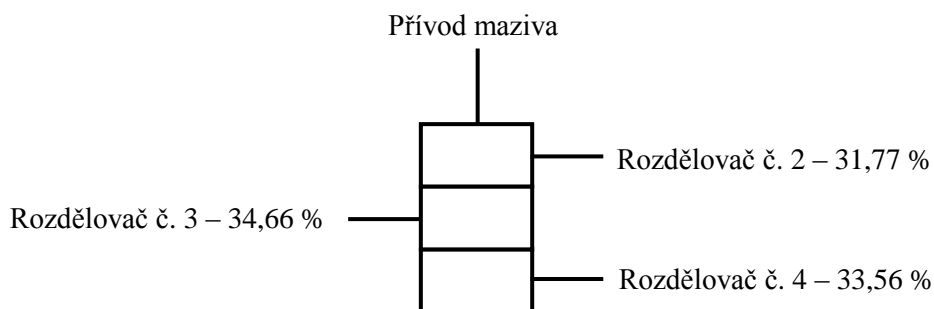
Rozdělení mazaných ploch k jednotlivým rozdělovačům:

- Hlavní rozdělovač č. 1 – rozdělovač č. 2, 3, 4
- Rozdělovač č. 2 – mazané body 1, 2, 3, 4, 5, 6 (podíl ploch – $4840 \text{ cm}^2 = 31,77 \%$)
- Rozdělovač č. 3 – mazané body 7, 8, 10, 11 (podíl ploch – $5280 \text{ cm}^2 = 34,66 \%$)
- Rozdělovač č. 4 – mazané body 9, 12, 13 (podíl ploch – $5112 \text{ cm}^2 = 33,56 \%$)

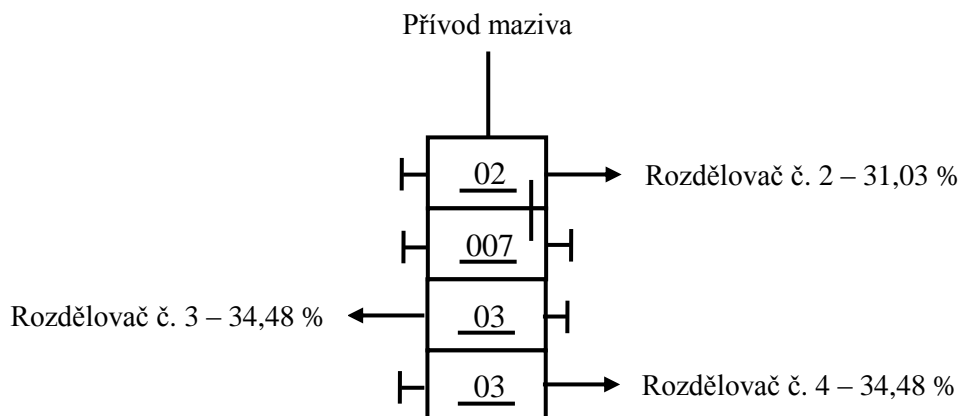
Parametry zvoleného typu rozdělovače ZP – A (C) [14]:

- | | |
|--|--|
| • Max. pracovní tlak | 160 bar |
| • Rozsah pracovních teplot | - 20°C až +80°C |
| • Přípustný rozdíl tlaku mezi dvěma vývody | max. 50 bar |
| • Otevírací tlak zpětného ventilu | 2 bar |
| • Dodávané množství na jeden píst a zdvih | 0,07; 0,1; 0,2; 0,3 cm^3 |
| • Průtočné množství pro olej, tuk | min. 0,5 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$,
max. 1 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ |
| • Použitelná maziva – oleje | ISO VG 68 do 1500 DIN 51519
(při +20°C teplotě okolí) |
| • Použitelná maziva – plastická maziva | NLGI – tř. 3 DIN 51818 |

Rozdělovač č. 1 (primární rozdělovač) – jak bylo řečeno, primární rozdělovač slouží k rozdělování maziva do sekundárních rozdělovačů č. 2,3,4. Podíly ploch u jednotlivých sekundárních rozdělovačů určují poměr dávek maziva mezi nimi. Z toho vyplývá složení dávek maziva primárního rozdělovače.



obr. č. 44 – Teoretické rozložení dávek maziva primárního rozdělovače



obr. č. 45 – Skutečné rozložení dávek maziva primárního rozdělovače č. 1

Procentuální podíly skutečného rozložení se vypočtou ze jmenovitého objemu V_j . Jmenovitý objem je součet objemů dávek na zdvih všech vývodů, kde V_{ji} je objem vytlačený dávkovacím pístem do obou vývodů. V tomto případě je výpočet následovný:

$$V_{ji} = V_p \cdot 2$$

$$V_j = V_{j_1} + V_{j_2} + V_{j_3} + V_{j_4}$$

$$V_j = 0,2 \cdot 2 + 0,07 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2$$

$$V_j = 1,74 \text{ cm}^3$$

Samotný procentuální podíl p jednotlivých větví se vypočte tak, že celkový objem maziva (na jeden zdvih) dodávaný do jedné větve V_i podělíme jmenovitým objemem V_j . Výsledek podílu vynásobíme 100 a obdržíme procentuální podíl určité větve. V_i vypočteme součtem všech dávek maziva Σv_i (spojení dávek vnitřní sekce, spojení dávek sousední sekce) pro danou větev. Pro příklad uvádím výpočet procentuálního podílu maziva pro větev primárního rozdělovače č. 1:

$$V_1 = v_1 + v_1 + v_1 + v_1$$

$$V_1 = 0,2 + 0,2 + 0,07 + 0,07$$

$$V_1 = 0,54 \text{ cm}^3$$

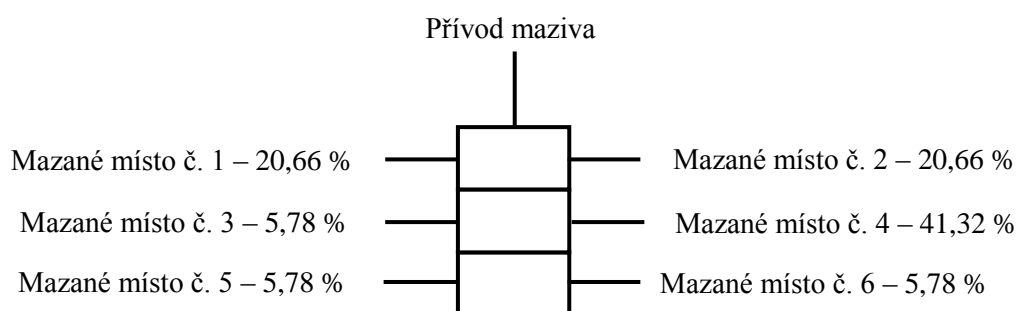
$$p = \frac{V_1}{V_j} \cdot 100$$

$$p = \frac{0,54}{1,74} \cdot 100$$

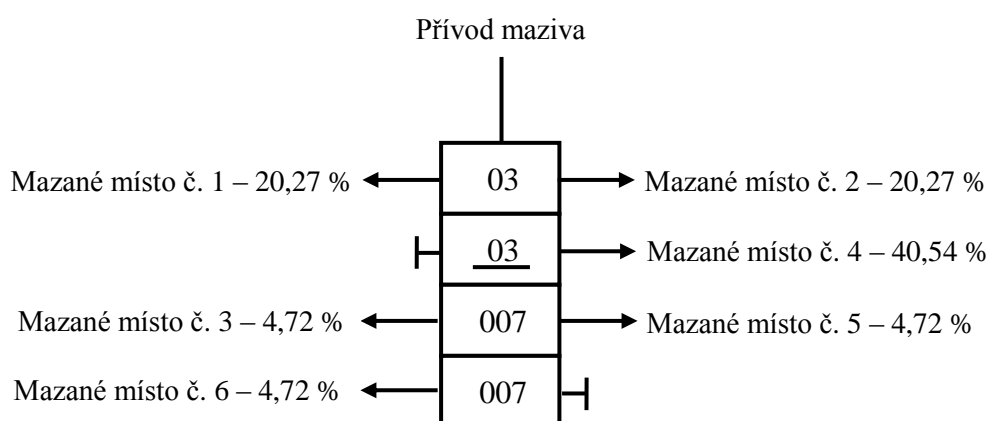
$$p = 31,03 \%$$

Uvedený postup se opakuje u všech následujících sekundárních rozdělovačů. Z tohoto důvodu jsou uvedeny pouze obrázky obsahující schematické značení s výslednými (skutečnými) procenty rozdělení.

Rozdělovač č. 2 (sekundární rozdělovač)

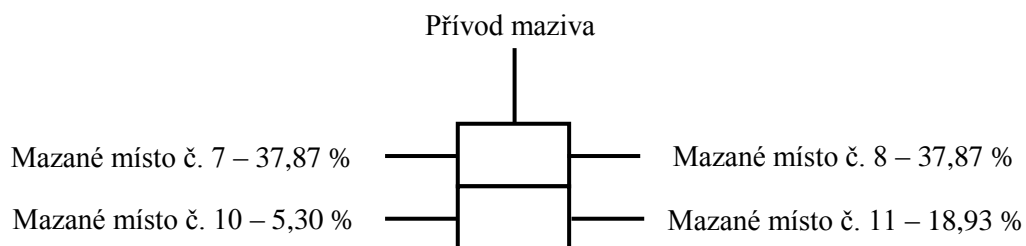


obr. č. 46 – Teoretické rozložení dávek maziva sekundárního rozdělovače č. 2

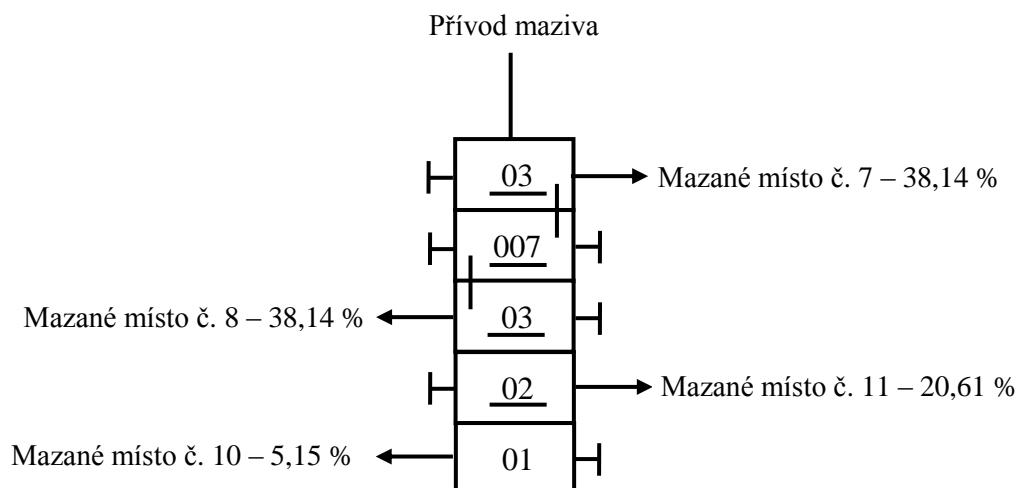


obr. č. 47 – Skutečné rozložení dávek maziva sekundárního rozdělovače č. 2

Rozdělovač č. 3 (sekundární rozdělovač)

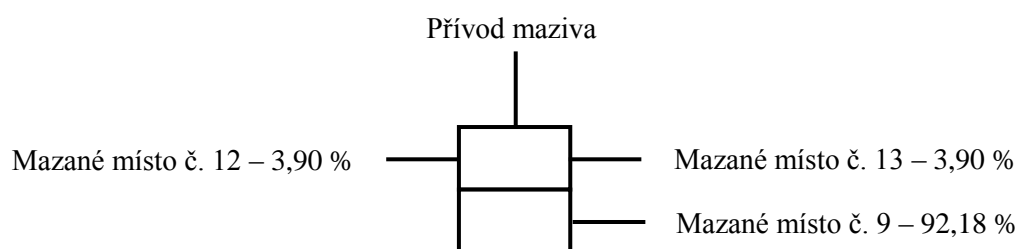


obr. č. 48 – Teoretické rozložení dávek maziva sekundárního rozdělovače č. 3

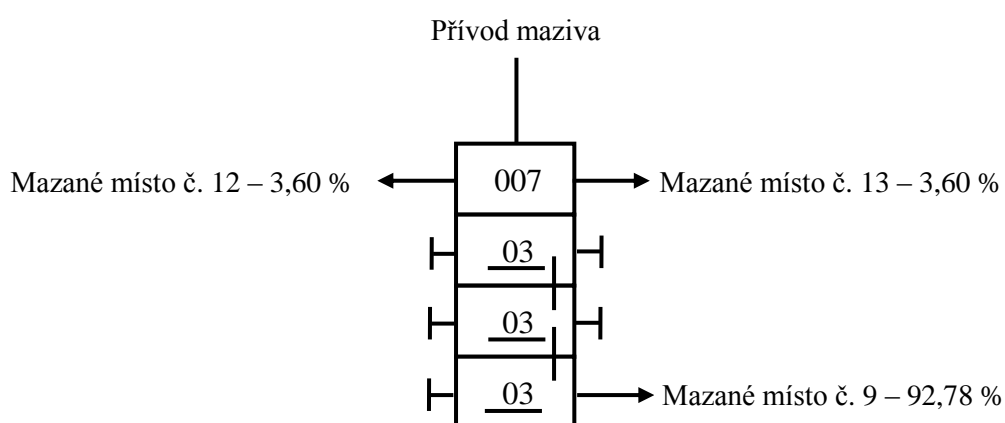


obr. č. 49 – Skutečné rozložení dávek maziva sekundárního rozdělovače č. 3

Rozdělovač č. 4 (sekundární rozdělovač)



obr. č. 50 – Teoretické rozložení dávek maziva sekundárního rozdělovače č. 4



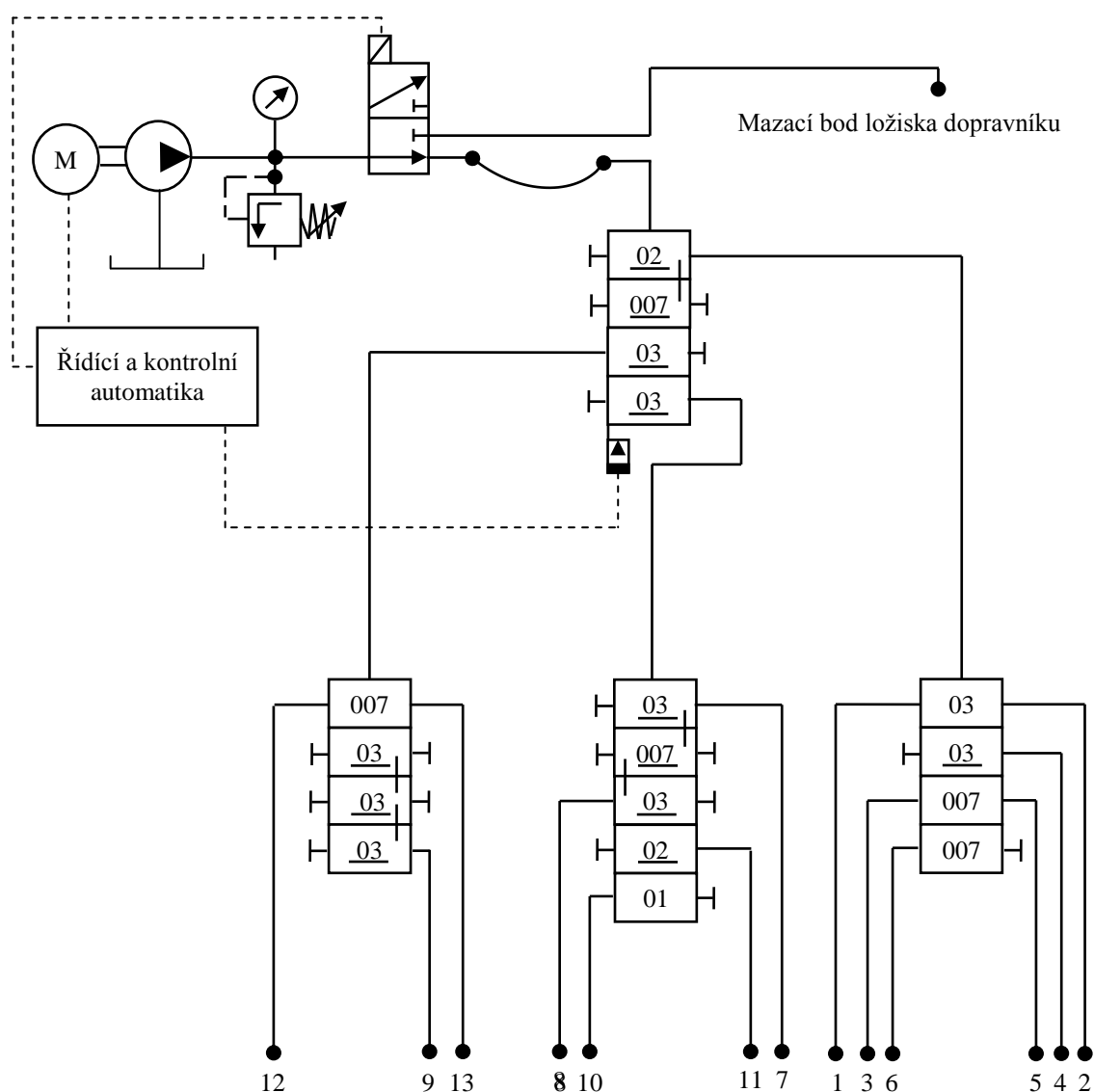
obr. č. 51 – Skutečné rozložení dávek maziva sekundárního rozdělovače č. 4

Čísla 007, 01, 02, 03 odpovídají $0,07 \text{ cm}^3/\text{zdvih}$, $0,1 \text{ cm}^3/\text{zdvih}$, $0,2 \text{ cm}^3/\text{zdvih}$, $0,3 \text{ cm}^3/\text{zdvih}$.

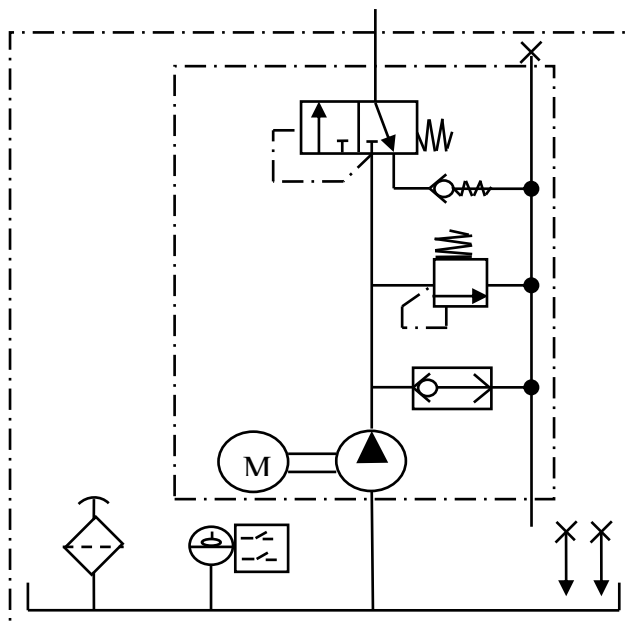
Význam značení:

	Uzavření vývodního šroubení
	Umístění vývodního šroubení
	Spojení obou dodávaných množství maziva jedné sekce
	Spojení dávek se sousední sekcí

Schéma mazacího obvodu



obr. č. 52 – Schéma mazacího obvodu s progresivními rozdělovači



obr. č. 53 – Hydraulické schéma mazacího agregátu MFE5 – BW16 fa SKF [18]

Zvolený mazací agregát MFE5 – BW16 disponuje průtokem $0,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, reservoárem o objemu 15 l a bezpečnostním snímačem maximální a minimální hladiny. Provozní tlak je 28 bar.

Vypočítaný průtok je $0,076 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, což je několikanásobně menší, než průtok zvoleného agregátu. Tento krok je záměrný, velikost průtoku agregátu nám umožňuje široký rozsah regulace a řízení dávkování maziva. Pomocí frekvenčního měniče můžeme regulovat průtok agregátu a tím zajistit optimální parametry dávkování maziva do MM (v kombinaci s vhodným časovým intervalem řízený časovým relé). Uvedený způsob optimalizace dávkování vychází z výpočtu založeného na empirickém vztahu. To znamená, že vypočtené hodnoty dávek maziva nemusí být optimální pro tento typ stroje.



obr. č. 54 - Mazacího agregát MFE5 – BW16, fa SKF [18]

Klady a zápory řešení rekonstrukce mazání fy EMKOR Group, s.r.o.

Výhody:

- Jednoduchost provedení
- Nízké náklady
- Využití stávajících mazacích bodů a potrubí
- Jednodušší řízení dávkování

Nevýhody:

- Velmi omezená kontrola dávkování maziva
- Menší možnosti regulace
- Dva mazací agregáty
- Nízká provozní spolehlivost

Klady a zápory mého řešení rekonstrukce mazání

Výhody:

- 100% kontrola dodávání maziva do MM
- Jeden mazací agregát
- Širší možnosti regulace dávek maziva
- Vysoká provozní spolehlivost
- Využití stávajících mazacích bodů

Nevýhody:

- Vyšší náklady na realizaci
- Složitější řízení dávkování maziva
- Nové potrubní vedení maziva

3.3 Alternativní řešení progresivních rozdělovačů [19]

Jednou z nevýhod klasický progresivních rozdělovačů je jejich konstrukce. Při změně objemu dávky maziva v určitém místě je nutné celý blok rozebrat. To způsobí odstavení CMS z provozu a přerušení chodu mazaného zařízení. Výměna je také časově náročná.

Tato negativa odstraňuje nová koncepce progresivních rozdělovačů typu SSV D od fy Lincoln. Jejich provedení je v blokové konstrukci. Nehrozí zde únik maziva netěsnostmi mezi jednotlivými segmenty. Princip funkce rozvádění maziva je stejný jako u běžných progresivních rozdělovačů. Dávkování maziva je prováděno písty, které ovšem mají stejnou velikost. Určení objemu dávky maziva zajišťují dávkovací šrouby. To umožňuje rychlou změnu dávkovaného objemu bez větších časových prostojů mazaného zařízení. Bloky jsou distribuovány v provedení s 6 až 14 mazacími výstupy. Dávkovací šrouby jsou poskytovány ve velikostech 0,07; 0,14; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 cm³/zdvih. Samozřejmě rozdělovače zachovávají možnost spojování vnitřních dávek a spojení dávek sousedních sekcí. Pořizovací náklady jsou menší než u klasických progresivních rozdělovačů. Rozdělovače SSV D jsou vhodné pro olej a tuk do třídy NLGI 2. Maximální pracovní tlak je 350 bar a minimální pracovní tlak je 20 bar.



obr. č. 55 – Progresivní rozdělovače LINCOLN SSV D [19]



obr. č. 56 – Sada dávkovacích šroubů [19]

4 VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH MĚŘENÍ

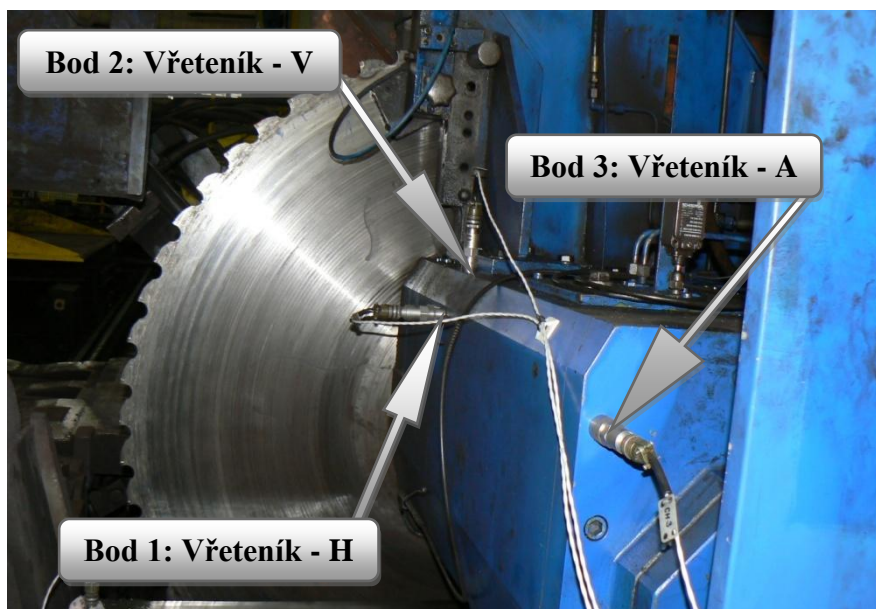
4.1 Popis měření

Provozní měření je prováděno formou pochůzkové vibrodiagnostiky s doporučenou periodou. Měřeným objektem je strojní pila WAGNER WHC 1430, respektive elektromotor pohonu pilového kotouče a převodovka (vřeteník). V kapitole 1.6 je uveden popis důsledků vzniklých vibrací od pilového kotouče a popis prvotního měření obsahující vyhodnocení. Cílem sběru dat je odhalení zdroje vzniku vibrací.

V období od 14. 9. 2009 do 16. 9. 2009 Bylo prováděno expertní měření při různých řezných rychlostech v kombinaci chodu naprázdno a zatížení (chod v řezu). Bylo zjištěno, že při maximální řezné (obvodové) rychlosti 116 m.min^{-1} se pohybují hodnoty vibrací elektromotoru v neuspokojivých, případně nevyhovujících mezích. Dále bylo odhaleno nedostatečné dotažení řemenů. Přistoupilo se k výměně ložisek elektromotoru a zvýšení napnutí řemenů. Po těchto opatřeních byl kontrolním měřením zaznamenán rapidní pokles hodnot. To prokázalo, že při nižším napnutí řemenů jsou zvýšené vibrace a při řezné rychlosti nad 105 m.min^{-1} dochází k růstu chvění elektromotoru. Vibrace vzniklé na elektromotoru se přenášejí na vřeteno a uložení pilového kotouče. Zde ovšem dosahují vibrace uspokojivých mezí. Při zvyšování rychlosti dochází k lineárnímu nárůstu vibrací vlivem rostoucího řezného odporu. Vibrace náhodného charakteru nebyly při tomto měření zaznamenány. V příloze je uveden protokol z tohoto měření.

Krom měření pochůzkovou formou, bylo zařízení osazené 4 kanálovým ON - LINE systémem měření vibrací A 3600 od 23. 9. 2009 do 27. 9. 2009. V období aplikace on - line systému byla obsluha zařízení pověřena zapisováním dat, která obsahovala datum, čas, rychlost řezu, posuv na zub, rozměry a druh řezaného materiálu, průměr a číselné označení řezného kotouče, dále změny v konstrukci atd. ON - LINE systém prováděl záznamy efektivní hodnoty RMS rychlosti vibrací ve frekvenčním rozsahu 1 – 1000 Hz. Tímto měřením bylo získáno více jak 4000 časových záznamů a frekvenčních spekter měřených veličin. Během měření došlo několikrát k nárůstu hodnot nad povolenou mez dle normy ČSN 10816. Nárůst vibrací se projevoval ve dvou formách. První forma je závislá na provozních podmínkách (např. rychlost řezu). Druhá forma má náhodný charakter. Z měření byly zjištěny a potvrzeny některé příčiny vibrací. Ty se mohou objevovat

společně a tím více přispívat k navýšení růstu vibrací. Jedná se zejména o rychlost řezu, sílu napnutí řemenů, otupení břitů řezného kotouče, záběh nového kotouče. Roli zde hraje mnoho faktorů, které se mohou sčítat a vzájemně ovlivňovat. Protokol z měření ON – LINE systémem je uveden v příloze.



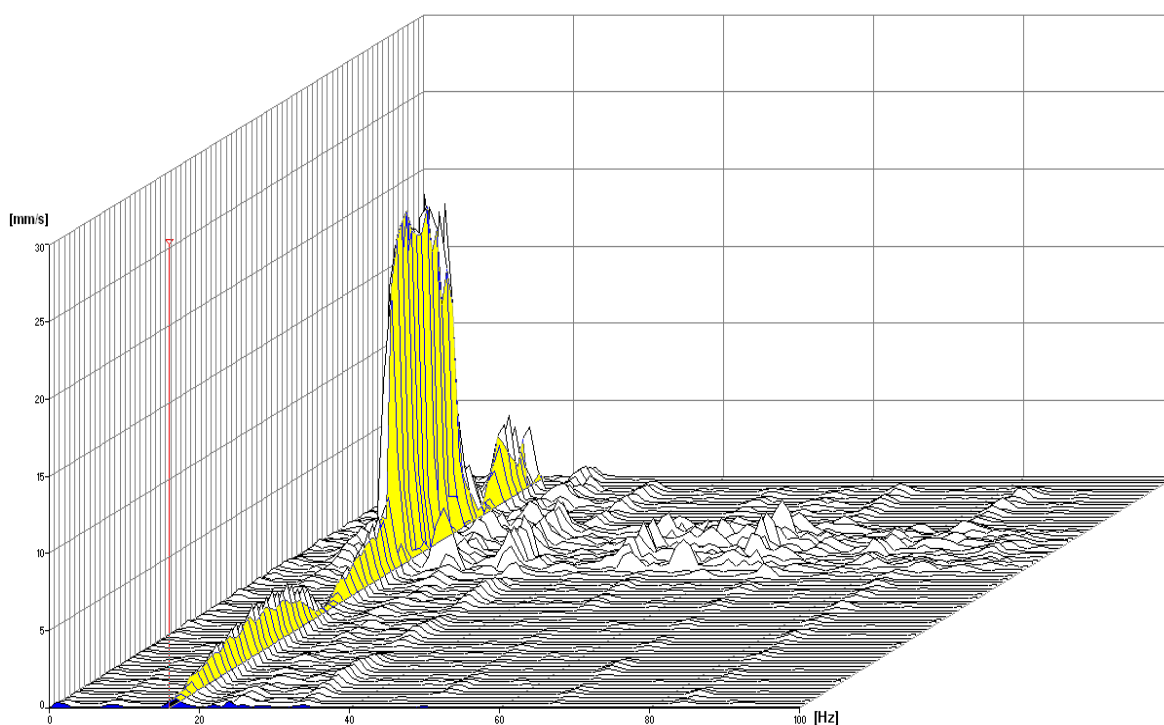
obr. č. 57 – Umístění měřících bodů ON – LINE systému A 3600 [13]



obr. č. 58 – Umístění měřících bodů ON - LINE systému A 3600 [13]

ON - LINE systém má velkou nevýhodu. V případě nárůstu hodnoty vibrací v daném čase se přesně neví, co je způsobilo. Je možné, že příčina zvýšení chvění může být od upínacího procesu, otupením kotouče atd. Doplnkový záznam o provozu zapisovaný obsluhou měl usnadnit orientaci v získaných datech. Ovšem v záznamu chybělo poměrně mnoho údajů, a proto byla data takřka nepoužitelná.

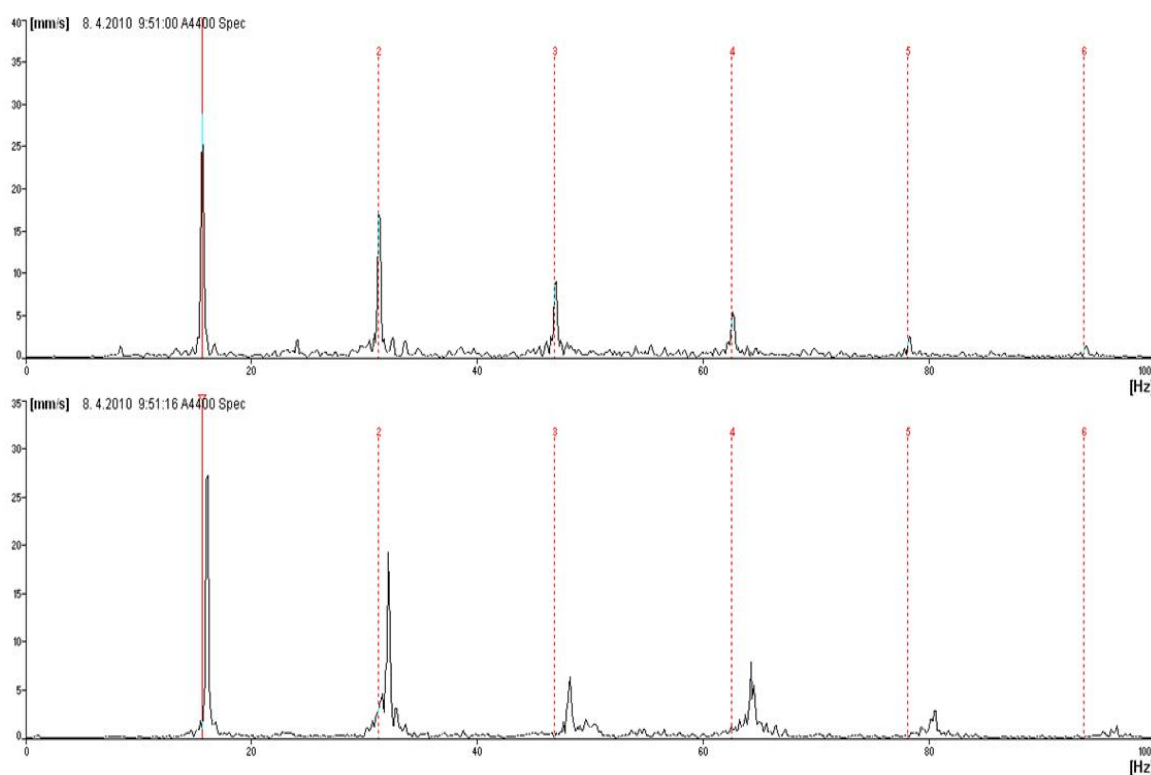
Kvalitní záznam dat, jak u ON - LINE, tak u běžného měření pochůzkovou metodou, komplikuje nízká frekvence otáčení. Dne 7. 4. 2010 bylo provedeno měření přístrojem umožňující měření pomaloběžných ložisek. Zde bylo důležité získat kvalitní data z frekvenční oblasti pod 10 Hz. Byly měřeny body 1 – 2 (značení podle umístění snímačů ON - LINE měření). Chybou softwaru při přehrávání se poškodila některá data (bod1- vertikální směr, bod 2 - horizontální a vertikální směr). Bohužel získaná data neměla žádný přínos pro přesnější určení příčin vibrací. Pro ilustraci uvádím některé časové záznamy rychlosti vibrací a frekvenční spektra.



obr. č. 59 – Kaskáda spekter efektivní hodnoty rychlosti vibrací – viditelný nárůst amplitudy na frekvenci 16 Hz

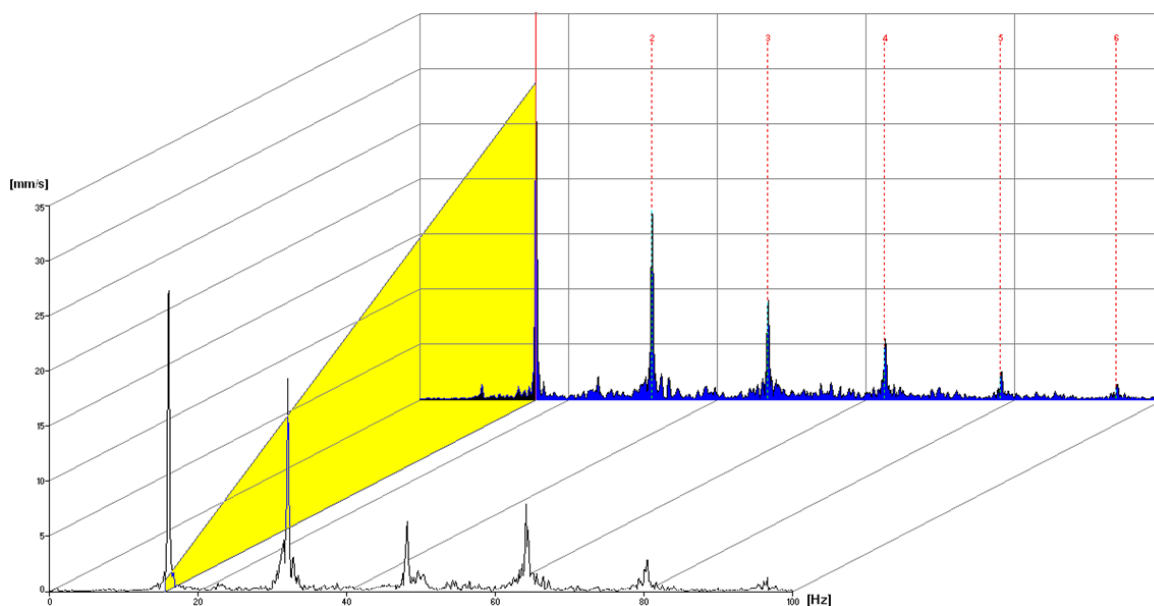
Na obr. č. 59 můžeme vidět výrazný nárůst hodnot rychlosti vibrací na frekvenci 16 Hz. Rychlost po navýšení dosahuje hodnot kolem 20 mm.s^{-1} . Kaskáda je složena ze spekter pořízených z počátku řezu. V okamžiku, kdy pilový kotouč pronikl několik centimetrů

do materiálu, došlo k výraznému nárůstu rychlosti vibrací. Ty způsobily silnou rezonanci celého stroje. Doba výskytu zvýšených vibrací trvala cca do $\frac{1}{4}$ řezu. Po té náhle došlo k jejich znatelnému poklesu. Na řezné ploše zpracovaného polotovaru byly vidět výrazné stopy po řezu (rýhy) v $\frac{1}{4}$ průměru. Jedná se oblast, kde došlo k nárůstu vibrací. To může poukazovat na problémy s upnutím zpracovávaného kontislitku. Je možné, že při upínání dochází k úhlovému posunutí. Řezaný polotovar není upnut přesně v kolmém směru k řeznému kotouči. Při řezu do $\frac{1}{4}$ průměru dojde k nárůstu vibrací. Ve chvíli kdy řezný kotouč překoná zmiňovanou část průměru polotovaru, kotouč se přizpůsobí. Vyřezaná drážka slouží jako vodítko, ve kterém se kotouč srovná a dojde k poklesu vibrací.



obr. č. 60 – Spektrum rychlosti vibrací, horní část - čas 9:51:00, dolní část - čas 9:51:16

Na obr. č. 60 jsou vyobrazena 2 frekvenční spektra rychlosti vibrací s označenými harmonickými násobky frekvence 15,625 Hz. Velikost rychlosti vibrací na zmiňované frekvenci dosahuje $28,772 \text{ mm.s}^{-1}$. V horní části je spektrum pořízené v čase 9:51:00. Spodní spektrum bylo zaznamenáno v čase 9:51:16. Je zde patrný frekvenční posuv. S největší pravděpodobností je zapříčiněn zvyšováním počtu zubů v záběru (v řezu). Obr. č. 61 znázorňuje tutéž situaci v kaskádě spekter efektivní hodnoty rychlosti vibrací.



obr. č. 61 – Kaskáda spekter efektivní hodnoty rychlosti vibrací – horní část - čas 9:51:00,
dolní část – čas 9:51:16

4.2 Výsledky měření

Výstupem vibrodiagnostických měření mělo být zjištění objektivního technického stavu zařízení a odhalení vzniku vibrací (rezonance). Vyhodnocení a samotné měření ovšem komplikuje mnoho faktorů. Jsou to např.: nedostatečné informace od údržby a obsluhy zařízení, náhodný charakter vzniku vibrací, široká škála provozních podmínek. Zde se střídají parametry jako rychlost posuvu, obvodová rychlost kotouče, průměry řezných kotoučů, kotouče samotné, rozměry a druh řezaného materiálu. K tomuto výčtu můžeme také přidat samotný stav jednotlivých částí stroje. Poškození povrchu nového lože pily. Podle posledních informací došlo k nesprávnému postupu při zpracování materiálu lože. Jeho povrch je příliš měkký. Dochází zde k nadměrnému opotřebení, které také souvisí s nedostatečným mazáním. Kluzný pohyb po poškozeném loži může přispívat ke vzniku vibrací. Otáčky řezného kotouče v nízkých frekvencích komplikují sběr a správu dat. Měření odhalilo poškození ložisek převodovky (vřeteníku) a určitou závislost napnutí řemenů a obvodové rychlosti kotouče na vibracích. Opatření provedená na základě zjištěných faktorů vedla pouze k nepatrnému snížení vibrací. Vibrace jsou spojeny s mnoha faktory, které se navzájem sčítají nebo doplňují. Současné podmínky nedovolují přesnější určení způsobu šíření vibrací a lokalizaci místa jejich vzniku. Velkou roli zde také hrají časové podmínky a vynaložené finanční prostředky.

5 ZÁVĚR

Úvodní část diplomové práce obsahuje informace o technické diagnostice a údržbě. Jsou zde vysvětleny metody technické diagnostiky a přínosy údržby pro výrobní proces. Součástí úvodu je popis společnosti BONATRANS GROUP a.s., jejich produktů a technologie výroby. Hlavní část úvodu je věnovaná strojní pile WAGNER WHC 1430. Zde jsou uvedeny technické parametry zařízení, popis jejího provozu, současný technický stav, ale hlavně nedostatky a závady, kterými se tato práce zabývá.

Druhá kapitola je věnovaná diagnostickému systému a ideovému návrhu mazání. Diagnostický systém je založen na principu rozdělení strojního celku na jednotlivé oblasti (mechanická zařízení, centrální mazací systém, hydraulické zařízení, řídící kabina obsluhy). Ve jmenovaných oblastech se zvolily vhodné diagnostické metody. Kombinací a doplňováním výsledků těchto metod vzniká informační výstup. Ten obsahuje jednak data o jednotlivých oblastech, ale také informaci o objektivním technickém stavu celého zařízení. Doplňkovým prvkem diagnostického systému je návrh zavedení provozní knihy.

Ideový návrh mazání je ve své podstatě popis navrhované varianty rekonstrukce CMS firmou EMKOR Group s.r.o. Její řešení spočívá v přidání druhého mazacího agregátu, který bude sloužit pouze pro mazání pily. Druhou mazací větev (mazání ložiska dopravníku) bude zajišťovat stávající mazací agregát. Pro orientaci je zde uveden popis stávajícího centrálního mazacího systému.

Další kapitola je zaměřena na vlastní návrh mazání. Ten se opírá o použití progresivních rozdělovačů, které zvyšují bezpečnost a kontrolu dodávky maziva. Mazání ložiska dopravníku je vyřešeno pomocí rozvaděče. Samotný návrh dávkování maziva je založen na principu podílu jednotlivých mazaných ploch. Dávkovaný objem maziva byl určen z doporučené empirické hodnoty firmy ŠPONDRA CMS s.r.o. Optimální dávkování je nutné provést až po instalaci mazacího systému. Zmiňovaná empirická hodnota je univerzální a nemusí být ideální pro tento druh zařízení. Díky rozsáhlé možnosti regulace a řízení, se nastaví vhodné dávkování maziva. Zdrojem tlakového maziva je jeden mazací agregát MFE5 – BW16. Jako alternativní řešení je uveden typ nových progresivních rozdělovačů LINCOLN SSV D.

Závěrečná kapitola obsahuje popis provozních měření a jejich výsledků. Jedná se o pochůzkovou vibrodiagnostiku. V rámci experimentálních měření bylo nasazeno i ON -

LINE snímání vibrací. Protokoly z některých měření jsou uvedeny v příloze. Hlavním cílem bylo určení zdroje vzniku nadměrných vibrací, které způsobují časté otupení řezných kotoučů, zhoršení kvality řezu, atd. Identifikaci zmiňovaného zdroje komplikuje mnoho faktorů: nedostatečné informace od údržby a obsluhy zařízení, náhodný charakter vzniku vibrací, široká škála provozních podmínek, nesprávná rekonstrukce lože pily, nedostatečné mazání, podezření na nepřesné upnutí děleného materiálu, možnost špatné tuhosti řezných kotoučů, vůle ve vedení na loži pily, podezření na uvolněné ukotvení základů celého zařízení, atd. Z výčtu faktorů je zřejmé, že zdroj nadměrných vibrací nemusí být pouze jeden. Může se jednat o celou řadu zdrojů, které se mohou sčítat nebo vzájemně ovlivňovat. Jedním z nástrojů, který může přispět k odhalení zdroje vibrací, je modální analýza řezného kotouče. Ta ovšem z organizačních a časových důvodů nebyla provedena. Vypovídající hodnotu by také měly výrobní informace o řezných kotoučích, které nebyly poskytnuty.

Podle posledních informací v období května bude provedena generální oprava strojní pily. Doporučení pro tento zákrok je následující. Při generální opravě je nutné se zaměřit na jmenované faktory, které mohou vést nebo jsou spojené se vznikem vibrací. To znamená: rekonstrukce centrálního mazacího systému, rekonstrukce poškozeného lože, odstranění vůlí na loži pily, kontrola systému upnutí děleného materiálu, kontrola kotevních šroubů, analýza řezných kotoučů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HELEBRANT, F; ZIEGLER, J. *Technická diagnostika a spolehlivost –II : Vibrodiagnostika*. Ostrava : VŠB –TU Ostrava, 2004. 171 s. ISBN 80 –248 – 0650 –9.
- [2] HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost – IV : Provoz a údržba strojů*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 1690 – 6.
- [3] ZIEGLER, J; HLEBRANT, F. *Technická diagnostika výrobních zařízení*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1992. 173 s. ISBN – 80 – 7078 – 111 – 4.
- [4] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost – I. Tribodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, 2000. 154 s.
- [5] ZATLOUKAL, Jan. *Provozní spolehlivost strojních zařízení v kamenolomech*. VŠB – TU Ostrava, 2008. 47 s. Bakalářská práce. VŠB - TU Ostrava.
- [6] *Zpravodaj EGV: Ročník 1..* [s.l.] : EGV spol. s.r.o., 2001. 19 s.
- [7] Technická diagnostika [online]. Dostupné z WWW:
< <http://www.diagnostikastroju.cz/> >
- [8] Vibrační diagnostika [online]. Dostupné z WWW:
< <http://www.diagnostikastroju.cz/> >.
- [9] Vibrační diagnostika [online]. Dostupné z WWW:
< <http://www.nkn.cz/diag.html> >.
- [10] Firma SKF [online]. Dostupné z WWW:
< http://www.skf.com/portal/skf_cz/home >.
- [11] *Společnosti BONATRANS GROUP, a.s.* [online]. Dostupné z WWW:

< <http://www.bonatrans.cz/> >.

- [12] *Předpis pro obsluhu : Horizontální kotoučová pila pro řezání za studena, model: WAGNER WHC 1430.* [s.l.] : Závod železničních dvojkolí ŽDB a.s., 1994. 26 s.
- [13] Podkladové materiály společnosti EMKOR Group, s.r.o.
- [14] ŠPONDŘ, Pavel; DVOŘÁK, Antonín. Progresivní mazací systémy. *Tribotechnické informace.* 2006, 2-3/2006, s. 7. Dostupný také z WWW: <<http://www.spondrcms.cz/Aktuality.htm>>.
- [15] *Katalog : PROGRESIVNÍ ROZDĚLOVAČE ZP-A, B, C, D.* [s.l.] : ŠPONDŘ CMS, spol. s.r.o., 2010. 7 s.
- [16] *Katalog : BEZKONTAKTNÍ SNÍMAČE pro progresivní rozdělovače ZP-A,B.* [s.l.] : ŠPONDŘ CMS, spol. s.r.o., 2006. 2 s.
- [17] *Katalog : KONTROLNÍ KOSTKA pro jeden vývod mazacího přístroje.* [s.l.] : ŠPONDŘ CMS, spol. s.r.o., 2006. 3 s.
- [18] *Katalog : Gear Pump Units For single – line centralized lubrication systems.* [s.l.] : SKF Ložiska, a.s., 2009. 10 s.
- [19] *Katalog : PROGRESIVNÍ ROZDĚLOVAČE SSVD přístroje.* [s.l.] : HENNLICH IDUSTRIETECHNIK, spol. s.r.o., 2004. 3 s.

SEZNAM PŘÍLOH

- I Protokol z měření strojní pily WAGNER WHC 1430 (12. 6. 2009)
- II Protokol z měření strojní pily WAGNER WHC 1430 po GO (19. 8. 2009)
- III Protokol z měření strojní pily WAGNER WHC 1430 Expertní měření
(14. – 16. 9. 2009)
- IV Protokol z měření strojní pily WAGNER WHC 1430 Expertní on – line měření
(23. – 27. 9. 2009)
- V Mazací plán strojní pily
- VI Mazací plán strojní pily - seznam